

贈閱

現代劇場自劇場之父易卜生揭
 幕以來，近百年蓬勃發展，波瀾壯
 闊，激盪出戲劇史上空前的盛景。

透過戲劇，我們可以看到時代
 生活的縮影，體驗現代人的苦悶、
 徬徨與對未來的憧憬，並藉以提升
 人生的境界，為激發X、Y、Z世代
 的年輕心靈，在成長期間對戲劇藝
 術發生興趣，培養其創作與演出的
 才情，本館和國立戲專合作出版《
 青少年表演藝術叢書》戲劇之旅系
 列，它包括編導、製作、表演、舞
 台視覺和劇場等範圍，以實用手冊
 的方式、淺近的筆法，讓讀者身歷
 其境，了解戲劇藝術之奧祕與五花
 八門的舞台技巧，進而湧身戲劇，
 創作出人類文明一齣齣深刻而雋永
 的感人作品。

青少年表演藝術叢書
 《戲劇之旅》系列

- ① 繽紛青春躍舞台
 ——製作觀念與技巧 蘇柱枝／著
- ② 奇妙的世界
 ——劇場 容淑華／著
- ③ 角色人物的創造
 ——如何表演 楊雲玉／著
- ④ 想像的空間
 ——如何賞析一齣戲 陳正熙／著
- ⑤ 天馬行空
 ——編導天地 陸愛玲／著
- ⑥ 會動的三度空間
 ——舞台視覺美學 林宜毓／著
- ⑦ 人類的天籟
 ——舞台音響 宋正宏／著

青少年表演藝術叢書
 戲劇之旅〈7〉

人類的天籟——舞台音響
 ——給中學生的劇場基礎音響手冊

- ◎ 聲學
- ◎ 電的導論
- ◎ 音源系統
- ◎ 放大系統
- ◎ 揚聲系統

ISBN 957-02-5803-9



9 789570 258035

GPN: 006329890092
 定價新台幣壹佰貳拾元整

青少年表演藝術叢書／戲劇之旅〈7〉 人類的天籟——舞台音響

宋正宏／著
 國立臺灣藝術教育館

人類的天籟
 ——舞台音響



——給中學生的劇場基礎音響手冊

宋正宏／著

〔作者簡介〕

宋正宏

實踐大學音樂系畢業
 維也納音樂及表演藝術大學電子及實驗音樂研究所畢業

曾任

中國廣播公司古典音樂網執行製作
 維也納市政府文化及古蹟保護局音樂技師

現任

新舞台管理部技術組音響工程顧問
 國立藝術學院劇場設計系兼任講師
 國立台灣戲曲專科學校劇場藝術科兼任講師

重要錄音作品

維也納室內管弦樂團音樂會實況錄音
 荀白克紀念音樂會“月光小丑”實況錄音
 捷克南波西米亞管弦樂團演奏會實況錄音
 斯洛伐克國立“依士拖普”室內管弦樂團專輯
 俄羅斯國家交響樂團“中國音樂”專輯
 曼紐茵指揮波蘭國家交響樂團室內音樂會音控



人們利用戲劇創造一種虛幻
 的生活，反應真實人生，讓
 觀眾面對面地接受生動的文
 化與藝術的傳播，對社會人
 文教化之功不可言喻，期望
 青少年朋友們一起來體驗戲
 劇動人的力量與戲如人生的
 喜怒哀樂。

封面設計／吳日昇 圖片提供／宋正宏

人類的天籟—舞台音響

—給中學生的劇場基礎音響手冊



國立臺灣藝術教育館 編印
National Taiwan Arts Education Institute

中華民國八十九年五月

青少年表演藝術叢書／戲劇之旅〈7〉

人類的天籟／舞台音響

—給中學生的劇場基礎音響手冊

出版者／陳篤正

出版機關／國立臺灣藝術教育館

作者／宋正宏

作者助理／黃國鋒 游淨斐 魏瑞圖

總編輯／熊宜中

編輯委員／潘金定 劉天課 劉安林 王玉路 蘇桂枝
林清涼 王學彥 偶樹瓊 容淑華 蘇儷玫

執行編輯／王鳳翎

美術編輯／吳日昇

總務／蕭炳欽

會計／楊清坤

地址／臺北市南海路四十七號

網址／www.nmh.gov.tw/art/index.html

電話／(02)23110574 (02)23965102

出版年月／中華民國八十九年五月

印刷所／冠順印刷事業有限公司

版次／初版

定價／新臺幣壹佰貳拾元整

展售處／館本部——臺北市南海路四十七號

電話／(02)2311-0574 分機11

中正藝廊——臺北市中山南路二十一號

電話／(02)2396-5102分機237

劃撥帳號／19316285

劃撥戶名／有限責任國立臺灣藝術教育館員工消費合作社

版權所有・翻印必究

GPN：006329890092

ISBN：957-02-5803-9（平裝）

青少年表演藝術叢書／戲劇之旅〈7〉

人類的天籟—舞台音響

—給中學生的劇場基礎音響手冊

宋正宏／著

序

藝術或美感體驗，在歐美國家的青少年成長過程中，扮演著非常重要的角色，許多青少年在中學的階段，多少都有一些舞台表演的經驗，這些戲劇性的演出，豐富了他們的讀書生活，陪伴著他們成長，甚至創造了人生美好的回憶，表演藝術遂為西方學校教育不可或缺的一部份。

近年來國內的戲劇人口日益蓬勃，小劇場風行，青少年與兒童參與演出的情形，也較已往更為頻繁，本館有鑑於此，特別為青少年朋友設計出版表演藝術叢書，讓有志朝戲劇發展的青少年學子，有登堂入室的接觸機會，並渴望能將表演藝術的種子撒向中小學校園，以提升學生人文素養，增進教育品質，深化藝術的體驗，甚而以美感的追尋，為人生的目標。

這套《青少年表演藝術叢書》是本館和國立台灣戲曲專科學校合作出版的，計劃出版一套十冊，計分京劇認識、戲劇之旅兩大篇，分門別類介紹給青少年朋友，並分別敦請戲專的資深教師執筆，本書文字淺白，簡明易懂，希望能帶給讀者認知與學習的樂趣，在此特別感謝國立台

灣戲曲專科學校對本書於籌備編印之初所作詳實的前置規劃，此舉非但為創學校與社教機構合作推動藝術、文化的先例，更為國內讀者提供表演藝術的新視野。

國立臺灣藝術教育館館長

陳篤正

爲生活點一盞亮麗的燈

精緻的表演藝術，不僅是單純的休閒娛樂，它往往也能提供我們在生理和心靈層面的成長與啟示。而藉由對表演藝術的參與及認知，更能讓我們平凡無奇的生活，展現出多采多姿的趣味。「青少年表演藝術叢書」系列，便是在如此理念下所推動的具體成果。

主持這項計畫的國立臺灣藝術教育館，歷來對藝術教育的推展及籌辦藝文活動的成績，早已是有目共睹，深受社會各方肯定。此次本校有幸能參與這項有意義的活動，實在倍覺榮幸。爰此，我們商請校內外學有專精的學者、專家及教師，在結合學術理論與實際經驗之後，以深入淺出的筆法，精簡扼要的內容，提供青少年朋友做為認識表演藝術的基礎。

本校為國內唯一涵蓋國小、國中、高職、專科之一貫制表演藝術專科學校，除了培育各種前後台的專業人才之外，對於各項表演藝術的紮根與推廣，也是責無旁貸的。是以這項意義深遠的合作計畫，也正是我們決心落實並努力普及表演藝術的具體行動。

在迎向千禧年的前夕，臺灣的各項經濟實力已不容小覷，但文化素養的提昇與培養，卻仍有很大的進步空間。我們竭誠盼望能藉由這套叢書的問世，為青少年朋友敞開一扇更寬廣的大門，讓他們更樂於親近表演藝術，體會這個繽紛燦爛的美麗天地。

國立臺灣戲曲專科學校校長
鄭榮興

自序

從奧地利回國將近三年；我還依然印象深刻的記得離開維也納時，我的指導教授Prof.Axel Seidlmann問我回國後想當甚麼樣的音響工程師？我很篤定的告訴他，我並不想做一個到流行音樂錄音室作一個賺大錢的錄音師。我祇想追隨我在維也納時的老師們的腳步，當“音響工作的教育者”，能跟學生完全打成一片的老師。我真的相當滿意於目前的情形，就好像在維也納時，立下的小小願望實現了。平日就以在國立台灣戲曲專科學校及國立藝術學院兩個學校兼職，與我的寶貝學生們一起為生活重心，再以各類表演藝術的音響相關工作為主要經濟來源，自己覺得日子過得有點像閒雲野鶴。寫書？這倒是想都沒有想到的事。

今年九月份，台灣戲專劇場藝術科的容淑華主任邀請我寫本書，我還在猶豫不決是否要答應的同時，學校已經答應國立臺灣藝術教育館。我臨危受命祇好奮力抓起久久未提的筆衝刺了。準備在短短的兩個月中將這本小小的手冊完成。

豈知竟於九月二十一日，發生了臺灣百年來最嚴重的集集大地震。我隨後義不容辭的投入了許多賑災義演的工作，疲於奔命還真的不足以形容我兩個月來的窘態。很多書的自序上，都會非常客套的寫上：“倉促付梓，請不吝指正……”等等客套話。對於我的這本小手冊而言，那可是句句實言，一點也沒有矯揉造作的目的喔！

我知道這本書的讀者，應該都是國中及高中的學生。我也不會在這本書上提一些艱澀的音響名詞，祇將一些音響的基本知識列入而已。現在的中學生，對於文字的能力較差，對於圖像的理解能力較佳。另一方面，又擔心自己不太了解現在年輕人的語法。特別請我目前就讀於國立藝術學院的得意門生黃國鋒、游淨斐、魏瑞圖三人把這本書口語化，又畫上所有的插圖，為本手冊增色不少。

感謝我就讀於實踐大學音樂科的恩師，也是現在我們台灣戲專的鄭校長；劇場藝術科辦公室對我一向很親切的容媽、熙哥及所有同事們的推薦，才讓我有機會寫這本手冊。也感謝在我身上投資了320萬奧幣相

當800萬台幣教育經費的奧國政府及國立維也納音樂及表演藝術大學及全體奧地利納稅義務人，以及在維也納辛勤教育了我四年的師長們。DANKE！

宋正宏

29 November 1999於臺北關渡

目 錄

序	5
第一章 聲學	17
1-1 聲音的分類	19
1-2 聲音構成的要素	20
1-3 聽覺基本性質	24
1-3.1 人類聽覺器官	24
1-3.2 人耳聽覺範圍	25
1-3.3 人類雙耳效果	26
1-4 音波基本性質	27
1-4.1 音波的类型	27
1-4.2 距離衰減現象	31
1-4.3 反射、折射、繞射與殘響現象	32
1-4.4 吸音與穿透	35

第二章	電的導論	37
2-1	電的性質	39
2-2	導體、絕緣體與半導體	41
2-3	單位、因次與電氣單位	42
2-4	科學與工程標記法	43
2-5	電荷與電流	44
2-6	電壓	46
2-7	功與功率	47
2-8	電壓源、電流源	48
2-9	其他電源	50
2-10	歐姆定律	51
2-11	電導	53
2-12	可變電阻器	54
第三章	音源系統	57
3-1	麥克風的原理	59
3-2	麥克風的種類	60
3-3	麥克風的指向性	61
3-4	收音系統的架設	64

第四章	放大系統	71
4-1	混音器	73
4-2	動態效果處理器	80
4-3	等化器	86
4-4	模擬音場效果處理器	88
第五章	揚聲系統	93
5-1	揚聲器的種類	95
5-2	揚聲器的原理	95
5-3	電子分音器	98
5-4	揚聲器的排列與組合	99
5-5	揚聲器的低音反射孔	100
5-6	揚聲器與擴大機	100

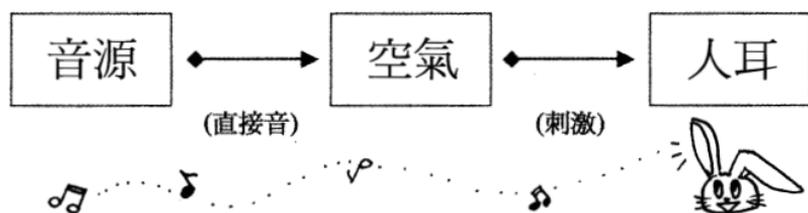
第一章

聲學



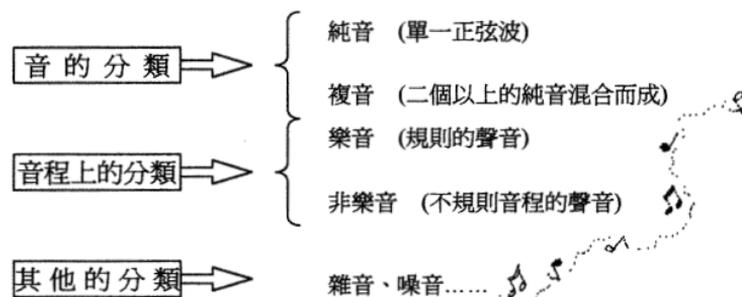
1-1 聲音的分類

聲音是指人類耳朵接收外在音波後對腦部的刺激所產生的反應。簡單的來說，如圖一，是由發音源經過空間刺激人耳的過程。而聲音的分類，在基本的聲



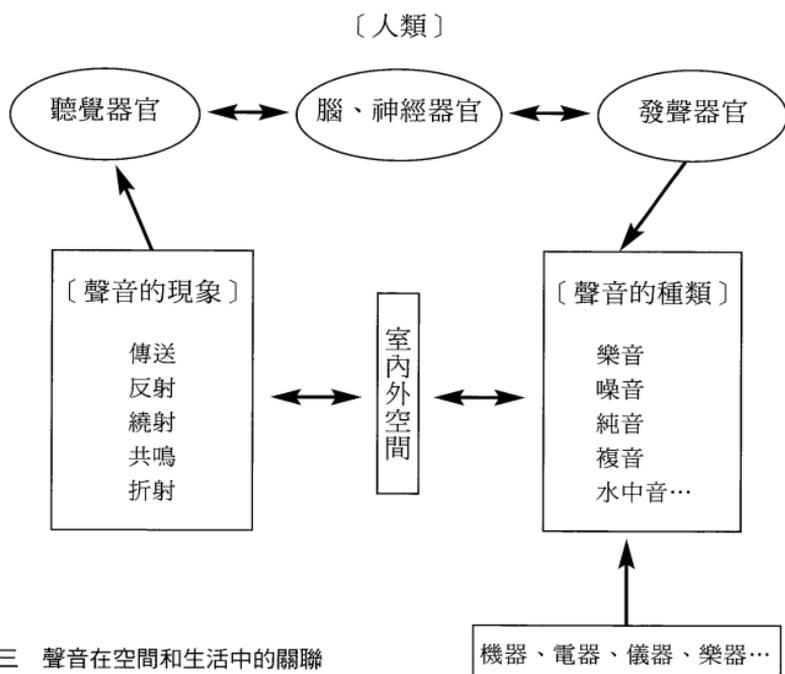
■ 圖一 聲音傳達人耳的過程

音上，可分為純音和複音；在對音程的有無可分為樂音(即有規則的聲音音高)和非樂音。除此之外無特定音高，只有音量大小的聲音，即為噪音。如圖二。(音量



■ 圖二 聲音的分類

與音高參閱下節)而聲音在人類生活和外在空間中的關聯性，我們來參閱圖三來瞭解一下。



■ 圖三 聲音在空間和生活中的關聯

1-2 聲音構成要素

聲音構成的主要基本要素有三，分別為音量、音高與音色，其內容分述如下圖四與圖五：

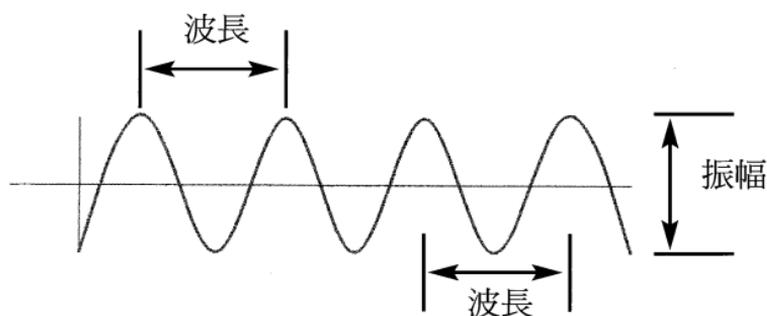
倘若單從樂器上來討論的話，當鋼琴琴鍵的觸擊

力道有強弱差異時，主要的不同就是來自音量大小的變化；而當以相同力道觸擊任意兩鍵時，其聽覺上主要差異就來自音高的不同；然而拿任意兩種樂器，彈奏出相同音高且音量相當時，在聽覺上所能分辨的差異，即為音色的差異。

	內 容	單 位
音量	即為聲音的大小	為 dB 中文稱為分貝
音高	即為聲音產生的頻率高低	為 Hz 中文稱為赫茲
音色	即音量與音高混合後產生泛音的不同所形成的聲音特質	



■ 圖四 聲音構成基本要素



振幅決定音量；波長決定音高

■ 圖五 聲音在空間和生活中的關聯

在日常生活中，我們用來檢測噪音值的單位就是dB分貝，見圖六，一般而言，我們所聽到的聲音音量大小的值，大約如圖七所示。



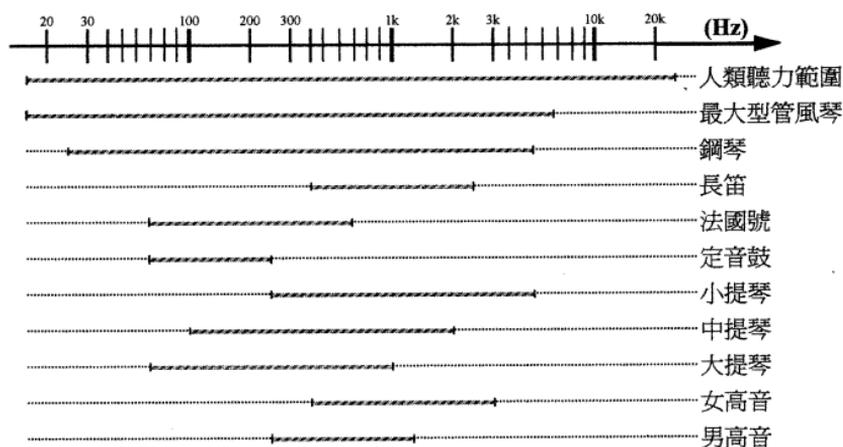
■ 圖六 噪音檢測



■ 圖七 環境音量大小值參考

在音高上，主要是由於頻率的不同而產生不同音高，聲波振動的頻率越密集，聲音就越高，反之頻率越疏緩，聲音越低。一般而言以88鍵的鋼琴來說，琴鍵中央的 D_0 其音高為512Hz，再往上八度的 D_0 為1024Hz，而往下八度的 D_0 為256Hz，其他的樂器也有屬於自己的音域範圍，請參考下圖八。

因此生活之中，我們所聽到的聲音就是由音量、音高和音色這三種要素所共同建構出來的。

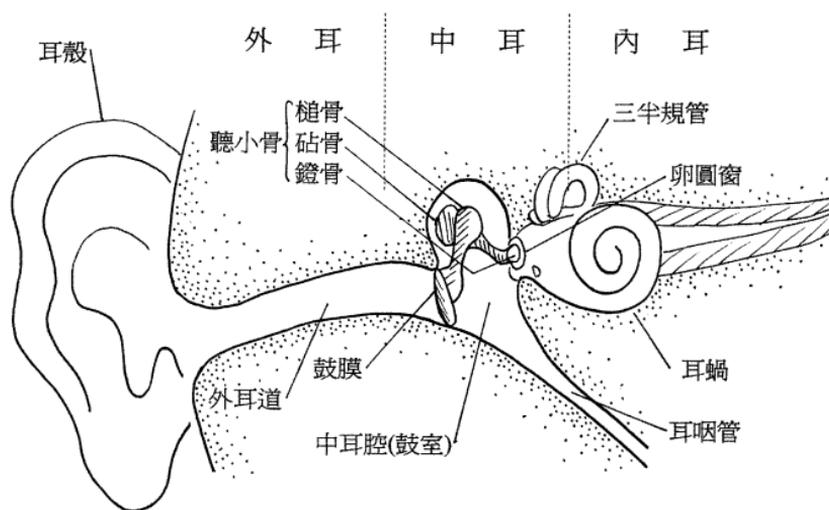


■ 圖八 各種樂器音高頻率範圍

1-3 聽覺基本性質

1-3.1 人類聽覺器官

人類聽覺器官分為內耳、中耳與外耳三個部分，其詳細構造請參閱下圖九：

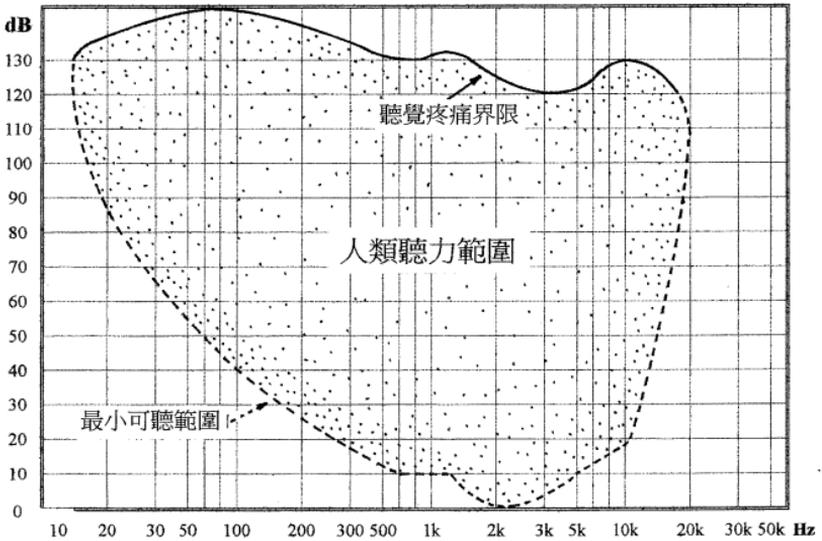


■ 圖九 人類聽覺器官構造

外耳為收集聲音並傳導聲音的部分，外耳和中耳之間以鼓膜為界，鼓膜的大小約為 55mm^2 的橢圓形，而厚度約為 0.1mm 。

1-3.2 人耳聽覺範圍

在動物的世界中，每種動物都能聽見屬於自己聽覺範圍的聲音，也就因為如此，人類也有其特定的聽覺範圍，對於大部分的正常人而言，在音量上為20dB~130dB，而在音高上為16Hz~24000Hz，但是隨著年齡增長與健康狀況，其聽力也會明顯的下降。大約五十歲以後，人類就會漸漸降低聽力範圍，最明顯的就是聽不見10000Hz以上的部份，圖十。



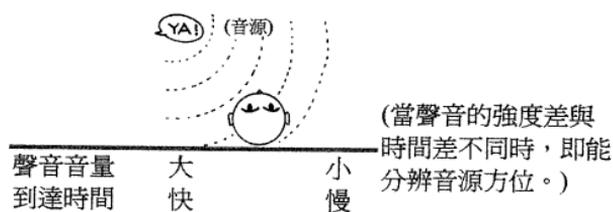
■ 圖十 人類聽力範圍

1-3.3 人類雙耳效果

各位讀者你知道人類耳朵為什麼不是一個而是一對，其實答案很簡單，它的原理和眼睛有異曲同工之妙。

雙眼的效果，主要是能分辨2D平面與3D立體的差別，進而能分辨出距離和物體的大小的關係，其主要目的為的是能判斷物體在空間中的位置；而雙耳的效果也是如此，當單耳所能收到的資訊只有聲音構成的三要素時，如同單眼一樣只能判讀物體的表面資訊，無法進一步獲得空間上的資訊一樣。雙耳的效果就在於判斷聲音的方向定位，噪音與信號的分離。

當單耳的功能如同單聲道(mono)一般，而雙耳就似立體聲(stereo)的效果一樣，這是藉由聲音資訊的強度及時間差的不同，來判斷出空間定位的人類本能如圖十一。

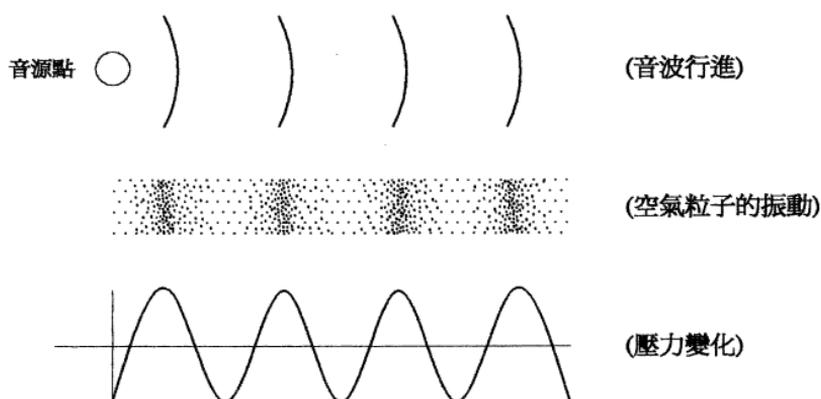


■ 圖十一 雙耳判位效果

1-4 音波基本性質

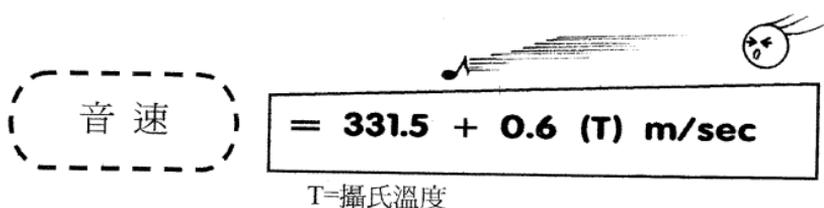
1-4.1 音波的型式

音波是依附在介質上傳播的形式，當處於沒有介質的狀態下，音波沒有任何憑藉物可供傳遞，因此將不會有任何聲音的發生。一般在空氣中，藉由空氣粒子的傳播，經過空氣的擠壓形成疏密，而產生壓力變化如圖十二。一般音波的傳動速度即為音速，在於不同介質和溫度濕度狀態下，是有不同的速率，正如溫



■ 圖十二 音波現象與型式

度濕度越高，其聲音傳送速度也越快，其音速公式如下圖十三。例如在24°C的氣溫下，聲音在空氣中傳遞



音速

$$= 331.5 + 0.6 (T) \text{ m/sec}$$

T=攝氏溫度

■ 圖十三 音波速度公式

的速度有多快呢？計算方式就為， $331.5 + 0.6 (24) = 345.9 \text{ m/sec}$ 。也就是說當氣溫24°C時，聲音在空氣中以每秒345.9的速度在行進。見圖十四。

鐵	5900 m/sec
杉木	4000~5000 m/sec
混凝土牆	3200 m/sec
水	1500 m/sec
20°C的空氣	343.5 m/sec

其實……空氣的速度……很慢吧……

■ 圖十四 音波在各種物質中傳達的速度

波長為音高的相關性質，係指音波一個周期的距離，其一波長的時間與波長的計算公式如圖十五。例

一波長的時間
即為周期

$$= 1 \text{ (秒)} / \text{頻率 (Hz)}$$

波長

$$= \text{音速} \times \text{周期}$$

■ 圖十五 周期與波長公式

如100Hz一波長的時間為1/100秒，而在音速340m/sec時100Hz的波長為 $340 \times 1/100 = 3.4\text{m}$ 。所以波長越長其音高越低，波長越短音高越高，圖十六為空氣中音波的頻率與波長的關係。

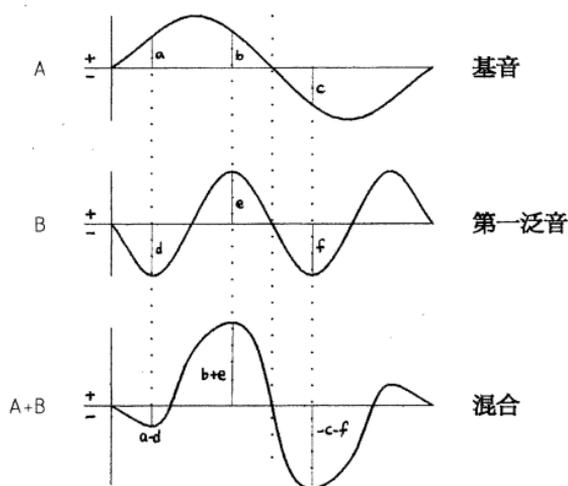
頻率 Hz	波長 cm
20k	1.7
10k	3.4
5k	6.8
2k	17
1k	34
500	68
200	170
100	340
50	680
20	1700

常溫中音速為 340 m/sec

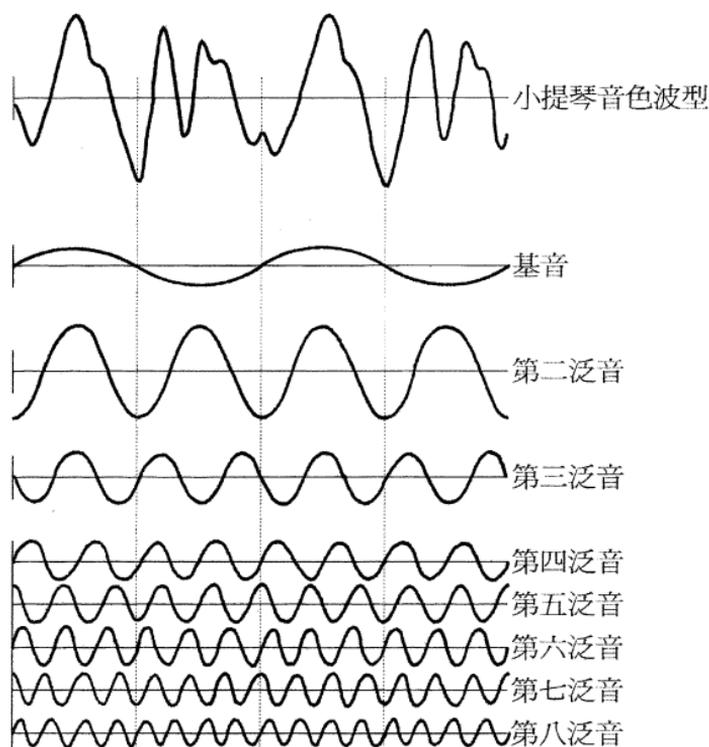
■ 圖十六 常溫中音波頻率與波長的關係

頻率，為音高的基本要素，也就是指音波每一秒振動的次數，其單位為Hz赫茲。牽扯到聲音的高低和音波長短，當頻率越高時音波長度越短，其聲音也越高，反之亦然。振幅是聲音音量的要素，振幅越大音量越大，反之亦然。

在日常生活中所聽到的聲音，都不是個單純的波形(正弦波)，但在其複雜的波形中找出其正弦波的基音後，其正弦波的頻率之間形成1：2：3...的整數比，此一頻率相互成整數比的關係，則稱為泛音或倍音，最低的泛音稱為基音，其他依次稱為第二泛音(倍音)，第三泛音...這就稱為泛音結構如圖十七，十八。



■ 圖十七 基音與泛音（倍音）的混合

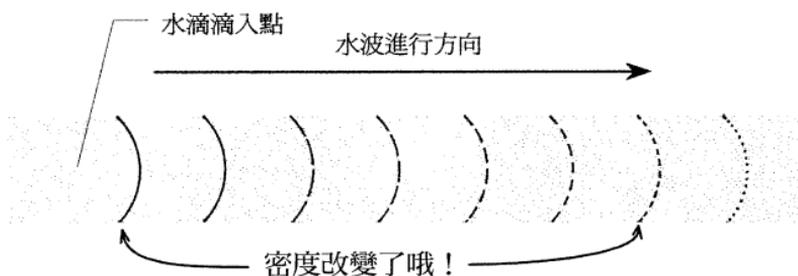


■ 圖十八 小提琴音色與泛音結構

1—4.2 距離衰減現象

所謂的距離衰減，則是由於能量的耗損而產生音波散失在空氣中的現象，簡單來說，當一個無限大的水面，滴入一滴水時，水面上所產生的水波以同心圓的形式向外擴張，而水滴下的能量也會隨著距離的因

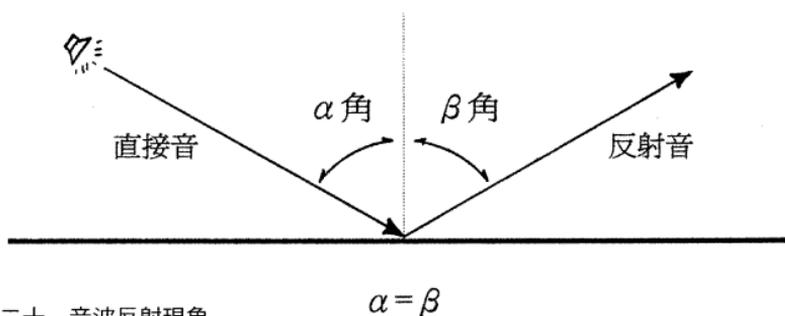
素逐漸散失至無。這個現象亦會發生在音波的狀況之下，如圖十九。



■ 圖十九 水波距離衰減示意圖

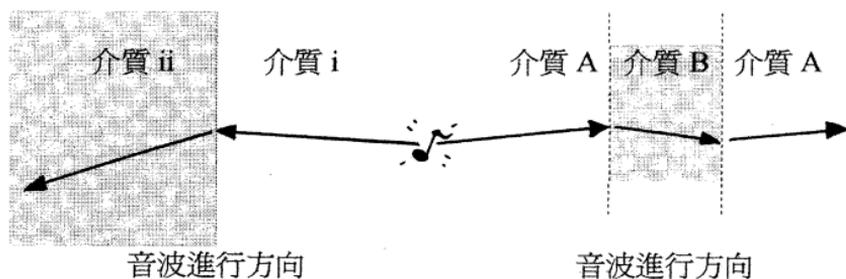
1—4.3 反射、折射、繞射與殘響現象

當音波在空氣中傳送時，和環境空間的材質接觸後，會產生反射、折射和繞射的現象。當反射的產生如圖二十，是為入射角等於反射角的原理，造成音波

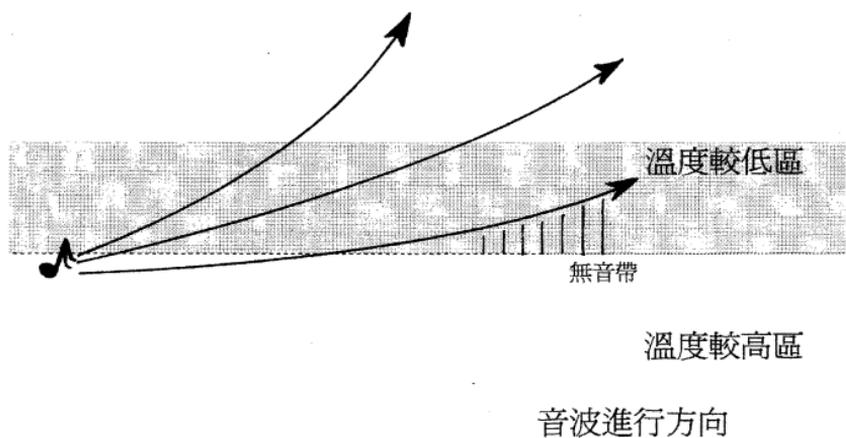


■ 圖二十 音波反射現象

在空氣中行進方向的改變。而溫度或介質的不同，會造成音波折射的現象產生，如圖二一～二二，音波會由溫度高而往溫度低的區域折射。介質的不同就例如音波由空氣傳到水中，也會產生折射現象。繞射是因

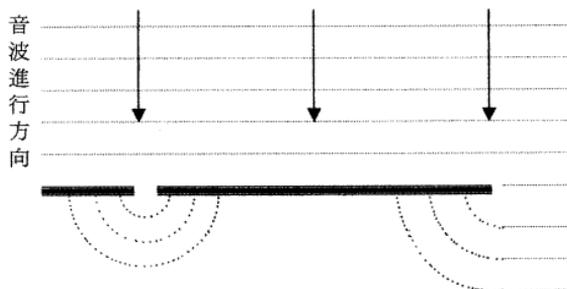


■ 圖二一 音波對介質的折射現象



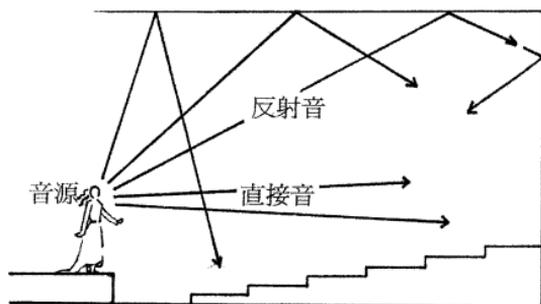
■ 圖二二 音波對溫度的折射現象

為音波進行時，受音面的阻礙不同，而產生的現象，如圖二三。



■ 圖二三 音波繞射現象

當以上的現象，產生在一個空間中，如劇場或音樂廳，這時就會有許多反射，而方向不一的聲音產生，因此反射後的音波行進時間和方向的改變，加上距離衰減現象，在空氣中造成一種特別的聲音反覆或互相抵消的現象，我們稱它為殘響現象。這種現象倘若受到適當的控制，反而會加強聆聽環境的音響效果如圖二四。

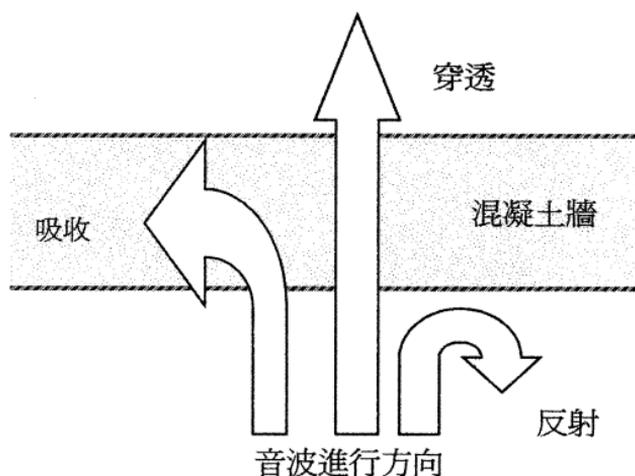


直接音與反射音的時間差造成時在劇場中的殘響現象

■ 圖二四 殘響現象示意圖

1—4.4 吸音與穿透

當音波接觸到環境空間的材質後，會有一部分的音波反射，而一部分的音波被吸收和穿透材質，如圖二五，這種現象，考驗材質的吸音能力或隔音能力，這對空間的聆聽環有著很大的影響。



■ 圖二五 音波的吸收與透射

1.0010.000

第二章

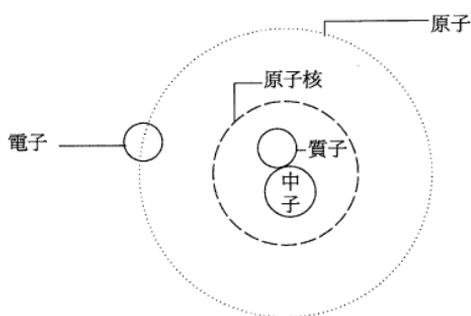


電的導論

2-1 電的性質

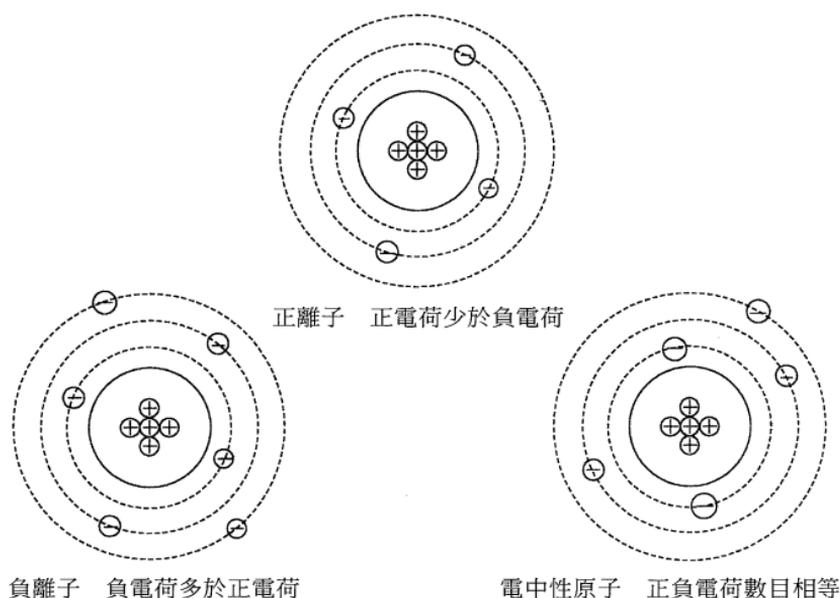
由一個簡單的物理實驗就可以知道電的基本性質，將一個與絲巾摩擦後的玻璃棒靠近紙屑，則紙屑就會被吸向玻璃棒，此一玻璃棒即為一帶電體，重複同一個實驗於另一玻璃棒，並將兩棒靠近，將會看到兩棒互相排斥。我們再拿毛皮摩擦另一個玻璃棒，然後與跟絲巾摩擦過的玻璃棒靠近時，則會看到兩棒互相吸引。由此可知此兩棒必帶相反電荷，所以才會互相吸引，所以我們也可推論互相排斥的玻璃棒必帶相同電荷，所以才會互相排斥。同性電相斥，異性電相吸，就構成電的最重要的性質。

那電荷又是從哪來的呢？我們知道所有的物質皆由原子構成，原子又可細分為質子、中子及電子，其中的中子及質子組成原子核，如圖二六。



■ 圖二六 原子的架構

經由學者研究的結果我們得知質子帶正電，中子不帶電，電子帶負電，而其所帶的電量及質量分別為多少，請見圖二七。



■ 圖二七 原子之結構分布圖

在正常的狀況之下，原子所含的電子數等於質子數，總電荷為零，成電中性。原子若失去電子，則電中性被破壞，由於此時中子的數量大於電子，正電荷數大於負電荷時，此一原子就稱為正離子；反之，若原子得到電子，而使負電荷數大於正電荷，則稱為負離子。表示正負離子及電中性之原子結構。

2-2 導體、絕緣體及半導體

由上一節之討論，我們知道原子可因為正負電荷數的多寡，形成正負離子，而這種使原子變成離子的過程稱為游離。因為原子最外層軌道的電子距原子核中帶正電之質子最遠，故其受正負電荷間相吸的作用力最小，最易受外力影響而脫離軌道而移向他方，這種電子我們稱為自由電子。依物質中的電子是否容易在原子之間移動的程度我們可將物質區分為導體、半導體及絕緣體。也就是說，一物質中，若自由電子含量密度較大，則其導電性較佳，反之即為半導體或絕緣體。

在一般物質中，銀具有最佳的導電性，但因銀的價格昂貴之故，所以在工業使用上通常以銅來當作導體導線的材料。而橡膠、玻璃、陶瓷等物質，則由於對電子流動之阻力極大，一般常被用來當絕緣材料。至於半導體，則是導電性介於導體及絕緣體之間的物質，常用的半導體如矽、鍺皆是。半導體所製成的零件如電晶體及積體電路，在工業上的應用十分的廣泛。

2—3 單位、因次與電氣單位

要以一個數值表示某一物理量時，必須要有單位。現今國際間所公定的國際單位系統 (International System of Units)，亦即SI單位系統是根據度量衡公約所決定。

量	單位名稱	符號	定義	備註
長度	公尺 (米)	m	光在真空中於1/299,792,458秒間所傳送的長度。	1983年改定
質量	公斤	Kg	與國際公斤原器相同的質量。	1989年定義
時間	秒	S	銻 1 3 3 作 超 微 細 遷 移 9,192,631,770個週期所花的時間。	1967年改定
電流	安培	A	在相距1m長度1m之平行線流動產生 2×10^{-7} 乘冪牛頓之間的電流。	1948年改定
溫度	開氏溫標 (度)	K	水之三態點之熱力學溫度之1/273.16。	1954年改定
光度	燭光	cd	540×10^{10} 乘冪HZ之單色放射光的強度為1/683W/sr之光源方向的光度。	1979年改定
物質質量	克分子	mol	與碳12之12g中所包含的原子數相等之粒子數所構成的物質質量。	1971年改定

由七個基本單位經由物理法則和定義，所組合而成者稱為組合單位。如平方米為面積單位，立方米為體積單位；千克 / 立方米為密度單位；米 / 秒為速度單位等。

而因次 (dimension) 可用於辨識出組合單位例如基本物理量之長度 (L,length)，質量 (M, mass)，時間 (T, time)，其因次分別為L，M，T，而組合單位依此規則適切的表達。

2—4 科學與工程標記法

在討論基本電學時，為了避免日後計算上可能會碰上的麻煩，對於很大或很小的數字，10的乘冪是種很方便的表示法，即所謂的科學標記法。

科學標記法即將數字轉化為1至10之間的某一數字，再乘以正確的10的乘冪。例如：

$$720000 = 7.2 \times 10^5$$

$$-0.0005 = 5 \times 10^{-4}$$

為了10的乘冪的表示上更為簡化，我們使用一些符號冠於單位之前，來代表10的乘冪，即所謂的工程標示法。

$$10^3 = K \quad 10^{-2} = C$$

$$10^6 = M \quad 10^{-3} = m$$

$$10^9 = G$$

A 基本電量

2—5 電荷與電流

由第一章之簡單介紹，我們知道了正、負電荷的由來，且知道正負電荷之間會有吸引力，相同電荷之間會有相斥力。（電荷量的單位為庫侖）

那我們要如何計算電荷之間的作用力呢？電荷之間同性相斥與異性相吸的原理，引導了庫侖定律的產生。假設現有兩帶電體，各自有電荷 Q_1 與 Q_2 ，兩帶電體之間的距離為 d ，則此兩帶電體間之電力 F 為

$$F = kQ_1Q_2/d \times d$$

上式即庫侖定律， F 是兩電荷間的作用力， Q_1 與 Q_2 代表兩電荷之電荷量， d 為兩電荷之間距， k 為一常數，隨帶電體之周圍介質特性而定。

在常用的M.K.S制中，電量單位為庫侖，距離單位為米，力之單位為牛頓，由於一庫侖等於 3×10000000000 靜電庫侖，我們可得到 k 之值為 9×10000000000 。所以使用M.K.S制時，公式可簡化成如下所示：

$$F = 9 \times 10 Q_1 Q_2 / d \quad (\text{牛頓})$$

在具備電荷的基本概念後，我們接著進入電流。電荷的移動，導致能量的傳遞，電荷流動的現象即稱電流，提供電荷移動的路徑即是電路。

電流的定義是「單位時間（ t ）內通過的電荷量（ Q ）」其單位為安培，又簡稱為安（A）。公式如下：

$$I = Q/t$$

在此式中， I 為電流，單位為安培（A）， Q 為電荷，單位為庫侖（C）， t 為時間，單位為秒（s）。即當

導體每一秒中通過一庫侖之電荷時，此時導體之電流量為1安培。

2—6 電壓

電荷在導體內流動時，需要動力去推動，此動力稱為電動勢。而此動力由何而來，由力學我們知道，位能可以轉為動能，而在轉換時若有影響物質運動，必定做功；在電學上也是相同的道理，一單位正電荷要由某一點移至另一點，兩點的電位必然不同，於是便有了電位差，我們又稱為電壓，電壓的單位為焦耳(joule)。換句話說，我們假設移動一庫侖之正電荷時，所作之功恰為一焦耳時，此兩點電壓即定為一伏特。如下式所示電壓與功之間的關係。

$$V = W/Q$$

上式中，V為電壓，單位為伏特，簡寫為V，W為功，單位為焦耳，簡寫為J，Q為電荷，單位為庫侖，簡寫為C。

在電壓標示，我們可採用雙下標法。假設電流由a

點流向b點，表示電荷在a點之位能高於b點時之位能，亦即a點之電位高於b點之電位，我們以 V_{ab} 來代表a、b間之電壓。

2—7 功及功率

由上一節我們知道，電荷量 Q 與電壓 V 的乘績，等於對元件所做的功：

$$W = QV$$

功率則為單位時間內所做的功，如下式所示。

$$P = W/t = QV/t$$

此時我們把2-1的電流公式帶入上式則可得推論如下：

$$\therefore I = Q/t$$

$$\therefore P = QV/t = VI$$

由上式的結果，我們也可以了解功率即電壓與電流的乘績。

由於電功率之使用普遍，但在某些場合瓦特這單位仍嫌太小，所以有人改以馬力標示功率額。其關係

如下。

$$1\text{馬力 (HP)} = 746\text{瓦特 (W)}$$

2—8 電壓源、電流源

本節我們討論電源。能提供電路電能者及稱電源。電源可分電壓源和電流源。最簡單的電壓源即電池，它能提供電路直流電源，至於電流源之獲得必須藉助電壓源與其他元件組合而成。以下分別介紹電壓源與電流源。

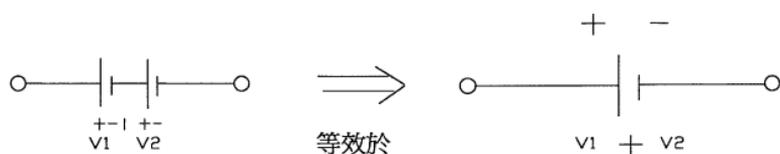
電池是我們最常使用的電壓源，它的原理主要是將化學能轉變成電能，而供應直流電壓。電池的種類有乾電池及蓄電池兩種，乾電池祇能使用一次，蓄電池則可再還原重新使用。

電池的壽命以安培／小時計算，就是假若有一個容量為100安培／小時的電池，則代表此電池可供給1安培直流電源100小時，或2安培電流50小時，或10安培電流10小時。

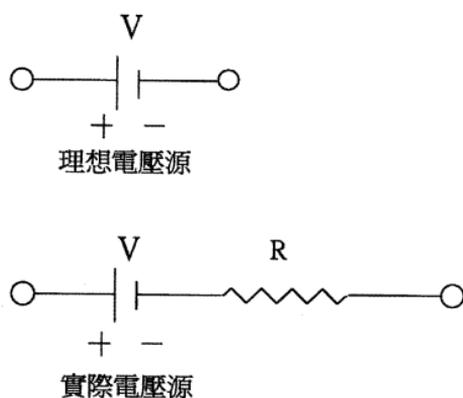
電池可串聯使用，以提供較高的電壓，串聯後之

電池電壓總合，即個電池電壓相加之值。請見圖二八所示。

必須要補充說明一點，我們在討論基本電學時，所討論的電壓源均為一理想值，即此電源不受輸出電流大小而影響其電壓值。如圖二九所示。但是實際應用時，電壓源仍有一小內電阻存在，這是在實作時必須要加以考慮的。



■ 圖二八 電池之串聯



■ 圖二九 電壓源之電路標示

2—9 其他電源

在日常生活中除了電池之外的電源有下列幾種。

(1) 機械能轉電能

例：發電機

發電機最常見的有水力發電、火力發電及核能發電。藉著機械的轉動，割切磁場磁通而產生電能，此法為我們的主要電力來源。

(2) 光能轉電能

例：太陽能電池

太陽能電池以其晶片受光程度大小而轉換電能，因此型電能轉換非常依賴陽光，所以能提供之電能有限。

(3) 熱能轉電能

例：熱電偶器

熱電偶器藉熱偶所受之熱源轉換成電能，其能提供之電源亦相當微弱。

(4) 壓力轉電能

例：壓電材料，石英晶體電池。

壓電材料和石英晶體在工業上常見之換能器，他們在表面受壓後，會有電流釋出給電路，通常用於工業控制上，雖然提供之電能亦十分有限，但在特定的精密控制要求上卻十分的方便。

(5) 磁能轉電能

例：感應線圈如天線線圈、磁頭。

此種獲得電源方式是利用磁能之轉換而產生電能，在某些家庭電氣上，此種材料可以提供簡易，小功率的輸出，應用十分的方便。

B 電阻

2-10 歐姆定律

電荷在物質中流動時會遇到阻力，此阻力在電學上稱之為電阻，其單位為歐姆（ohm）並常以希臘字 Ω 來表示，電阻亦簡寫為R（resistance）如圖所示。一般物質之電阻特性可分為三類：

(1) 導體：導體為易於導電之物質其電阻值很低。

(2) 絕緣體：絕緣體為電流幾乎無法流動之物質，電阻值極高。

(3) 半導體：此類物質其電阻特性介於導體與絕緣體之間。

一材料及截面均勻之導線，其電阻值乃根據以下因素而決定：(1) 材料性質、(2) 導線長度、(3) 導線截面積、(4) 溫度。

在一定溫度下，我們可由下式計算導線電阻：

$$R(\text{導線電阻}) = \rho(\text{導線電阻係數}) l(\text{導線長度}) / A(\text{導線截面積})$$

$$R = \rho l / A$$

由上式可推之，再定溫時，導線之電阻與其長度成正比，而與其截面積成反比，至於導線之電阻係數則依材質而定。

換而言之，隨著溫度改變，導線之電阻值也會隨之發生變化。由此我們可以得到另一個計算式。

$$R_2(\text{受溫度改變後電阻}) = R_1(\text{原電阻})$$

$$\mathbf{【1 + \alpha_1(t_2 - t_1)】}$$

α_1 為導線材料在 t_1 °C 時之電阻溫度係數， t_2 為改變後溫度， t_1 為原溫度。

在介紹完電阻之性質後，我們接著看歐姆定律，其定義如下：

歐姆定律：電路中之穩定電流大小，與電壓成正比，而與電阻成反比。其關係可表成下式。

$$V \text{ (電壓)} = I \text{ (電流)} R \text{ (電阻)}$$

$$I = V/R \text{ 或 } R = V/I$$

單位為：

$$V \text{ (伏特)} = I \text{ (安培)} R \text{ (歐姆)}$$

2—11 電導

電導之名詞是由電阻衍生而來，電導是電阻的倒數。其關係如下式所示

$$G \text{ (電導簡寫,)} = 1 / R \text{ (電阻)}$$

電導單位為姆歐，常以倒寫的 Ω 表示。從物理意義而言，電導表示電流通過導線的容易度。

2-12 可變電阻器

電阻分為固定及可變電阻兩種，本節針對可變電阻器講述。

可變電阻器之設計，通常以調整旋鈕或滑動接動片，來達到改變電阻值的目的。目前常用之可變電阻器有下列三類。

(1) 電位器

此類元件有線繞式和碳化式兩種。線繞式元件可以改變電阻值，也可改變電壓比值。碳化式元件只能改變電阻值。

基本上，電位器本身可視為三端接頭之可變電阻，此電位器最常用於音響設備之音量控制，有時也可作為燈光控制用。

(2) 可變電阻器

可變電阻器與電位器不同的地方是可變電阻為兩端接頭，所以在應用上受限較多。

(3) 半可調電阻器

此類電阻因只能用於較小範圍之電阻值調整，所

以價格較低廉，常被使用於完成某些電路控制。此類電阻亦稱為半固定電阻。



100/100

第三章

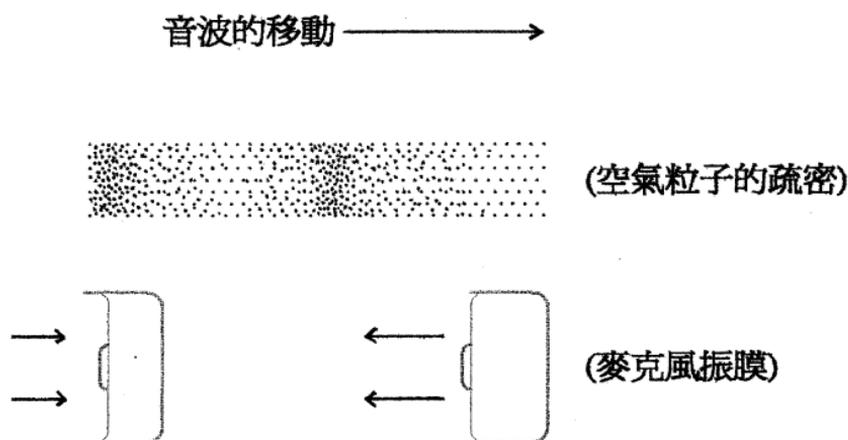


音源系統



3-1 麥克風的原理

麥克風是主要用來將聲音音波轉為類比訊號，如此才能將聲音記錄在可錄式音源系統中，或經由放大迴路將訊號放大出去。而麥克風的原理，就是同步複製音波的移動，轉換成振動的一鬆一緊的類比式訊號如圖三〇。



■ 圖三〇 麥克的原理

當聲音音波的振動，使得麥克風的振膜(就像耳朵的鼓膜一般產生相同的振動方式，而經由音圈將不同的電流傳送出來，再經電流放大後，就成為穩定且可接收的訊號。

3—2 麥克風的種類

一般麥克風可分為兩類，就是動圈式(dynamic)與電容式(condenser)。麥克風結構模仿人耳的鼓膜的部位，就是麥克風的振膜。

動圈式麥克風(dynamic microphone)其構造主要可分為三個部分，分別為振膜、音圈、磁棒。當外部音波振動了振膜後，在音圈和磁棒間產生了磁性電流後，音圈的兩極就產生細微電流變化，將其電流放大後，即成為聲音的類比訊號。

電容式麥克風(condenser microphone)和動圈式麥克風最大的不同，就是電容式麥克風需要供應直流電給予集電的金屬平行板，而經由振膜之振動帶動可動帶電板，而可動帶電板和固定帶電板之間的電容值會改變，因此產生電流訊號，再經放大而成的聲音類比訊號。

動圈式與電容式麥克風的不同，經過比較後，其差異如下圖三一：

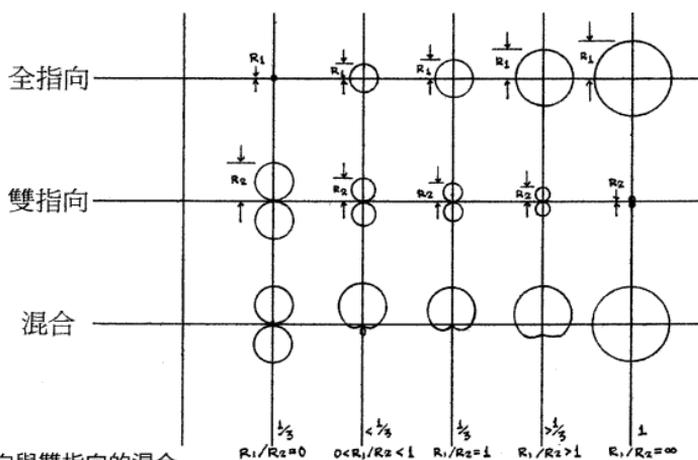
	動圈式	電容式
幻象電源 Phantom Power	不需要	需要
收音範圍	較小	較廣
頻率範圍	較窄	較寬
耐用度	較好	易損壞
一般價位	較低	較高



■ 圖三一 動圈式與電容式麥克風之比較

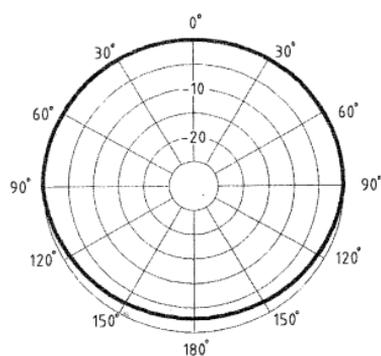
3—3 麥克風的指向性

所謂麥克風的指向性，簡單來說就是能夠收音的範圍，隨著指向性的不同，其收音範圍也會有顯著的不同，依麥克風的振膜所面向的方向，有以下五種類型的麥克風指向，而單指向麥克風是由全指向與雙指向麥克風間，相互增減而產生的，如圖三二。



■ 圖三二 全指向與雙指向的混合

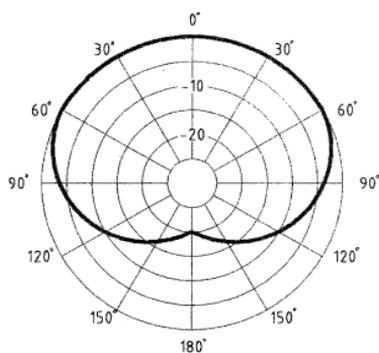
全指向或稱無指向麥克風(omnidirectional)如圖三三，是呈一球狀的收音區域，其範圍最廣，長用於AB、ABC立體聲收音主系統架構的收音。單指向麥克風有三型包括腎臟型(cardioid)如圖三四，超級腎臟型(supercardioid)如圖三五，與桃心型(hypercardioid)如圖三六，由於麥克風的指向是以麥克風振膜前端一個半球型的收音範圍為主，因此得名為單指向麥克風，腎臟型最常用於xy立體聲收音主系統架構，而超級腎臟型則以用於ORTF立體聲收音主系統架構為主。雙指向麥克風(bidirectionat)如圖三七，此型麥克風有兩個等大的指向性分別於麥克風的兩邊，其收音時兩端相位



圈內數值為音量(dB)

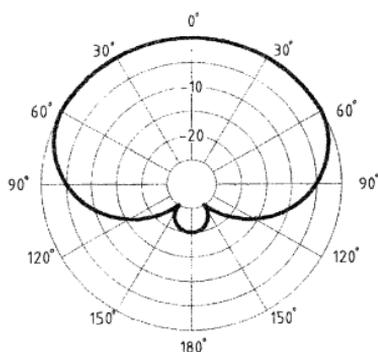
■ 圖三三 全指向麥克風收音範圍

互為正負，使用於MS立體聲收音主系統架構的S部分。以上麥克風指向性的圖僅供參考，且圖中實線的收音範圍以250~4000Hz左右的頻率範圍，不同廠牌的



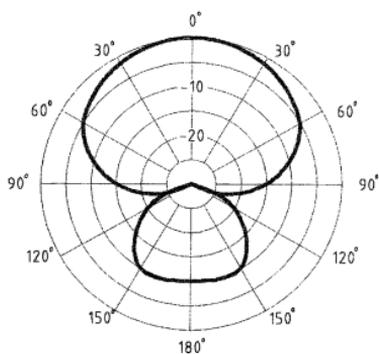
圈內數值為音量(dB)

■ 圖三四 腎臟型單指向麥克風收音範圍



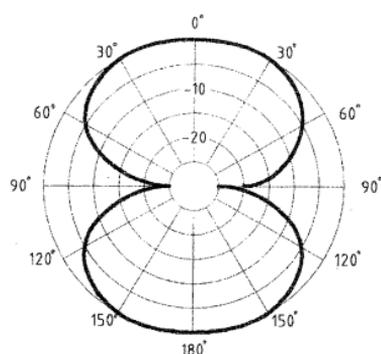
圈內數值為音量(dB)

■ 圖三五 超級腎臟型單指向麥克風收音範圍



圈內數值為音量(dB)

■ 圖三六 桃心型單指向麥克風收音範圍

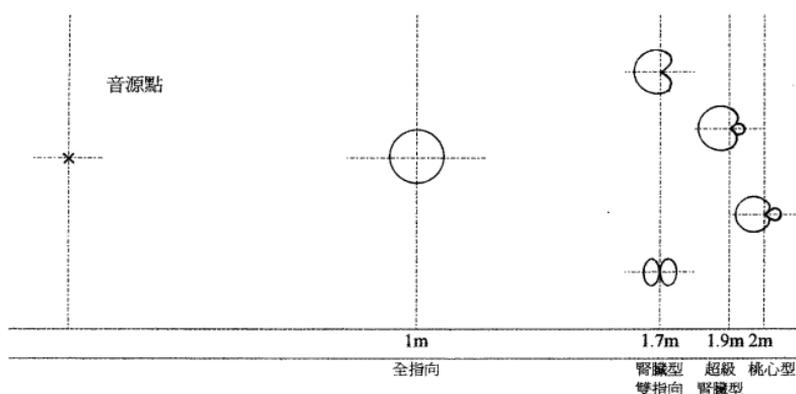


圈內數值為音量(dB)

■ 圖三七 雙指向麥克風收音範圍

麥克風指向性皆有不同。

每種麥克風的指向性，都有收音效果較佳的擺設距離，下圖三八為建議架設的距離。

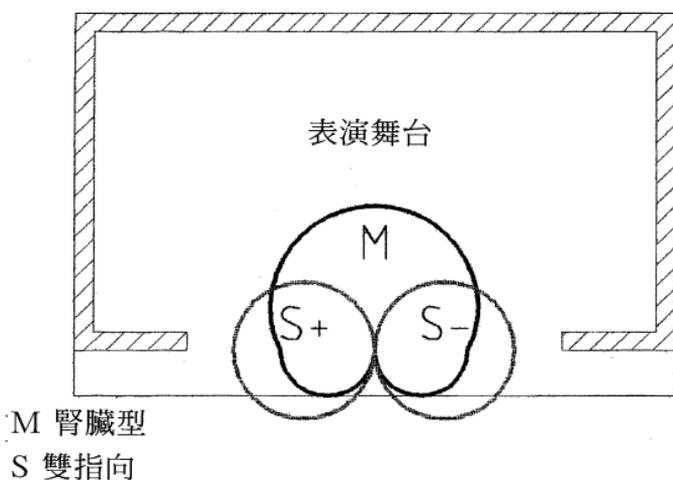


■ 圖三八 各種指向性麥克風與音源之距離

3-4 收音系統的架設

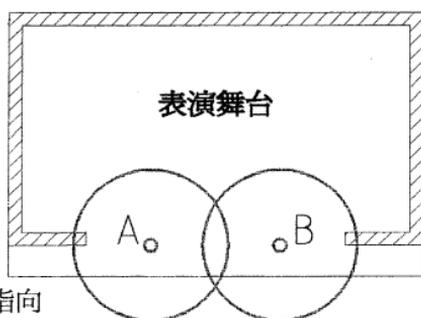
當有了麥克風之後，除了一般用單支麥克風接收音源外，如何能仿造人類雙耳效果來接收立體聲 (stereo)，使音源重現時有左右聲道的不同，形成立體音場的再現，下面就分別介紹五種主要立體聲收音系統架構 (stereo main system)。

(1) MS立體聲收音主系統架構，如圖三九，使用一支腎臟型指向和一支雙指向麥克風，其特色是適合小型的演奏，而缺點亦是中間部分的聲音太厚重，左右的聲音太薄，架設的重點是雙指向麥克風必須接到混音器(console)上的兩組channel上，而負相位的那一組channel，必須按下混音器上的反相位鍵。此系統是人類使用的第一種立體架設系統，現在由於中間音場較強調，一般用於鋼琴獨奏與室內樂的收音，有不錯的效果。



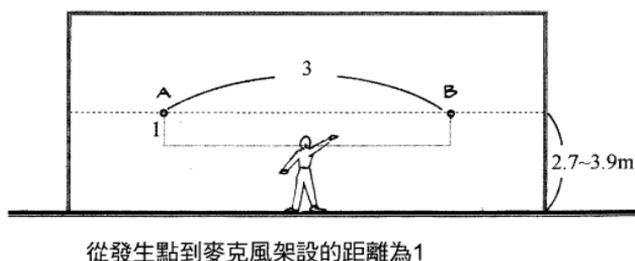
■ 圖三九 MS立體聲收音主系統架構

(2) AB立體聲收音主系統架構，在歐洲稱AB系統架構，美稱1/3式(space pair)，如圖四〇，使用兩支全指向麥克風，架設的方式如圖四一，是從音源點到麥克風高度為A，而兩支麥克風距離的計算方式，是從音源點的左右各1.5A的距離，也就是總共為3A的長度，其特色是左右聲道的音源相當明顯，但是缺點則是中間的收音較顯中空。



A 全指向
B 全指向

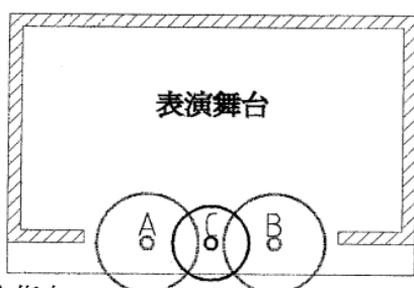
■ 圖四〇 AB立體聲收音主系統架構



從發生點到麥克風架設的距離為1

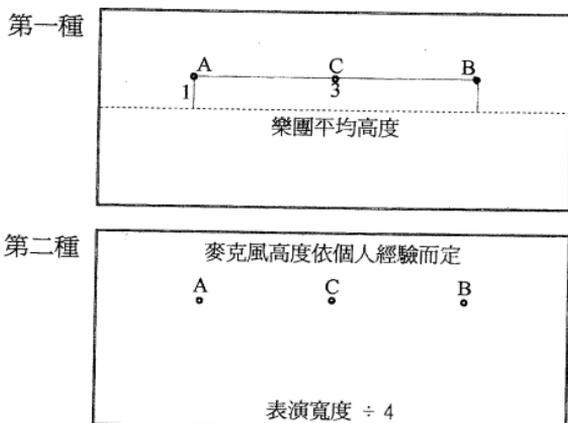
■ 圖四一 AB立體聲收音主系統架設距離

(3) ABC立體聲收音主系統架構，如圖四二，使用三支全指向的麥克風，架設方式分為兩種方式，一種架設方式為圖四三，也就是AB立體聲收音主系統架構1:3的架設位置中間再架上C；而另外一種是以表演區域的寬度除以四等分，在中間三個等分點上依序架



- A 全指向
- B 全指向
- C 全指向

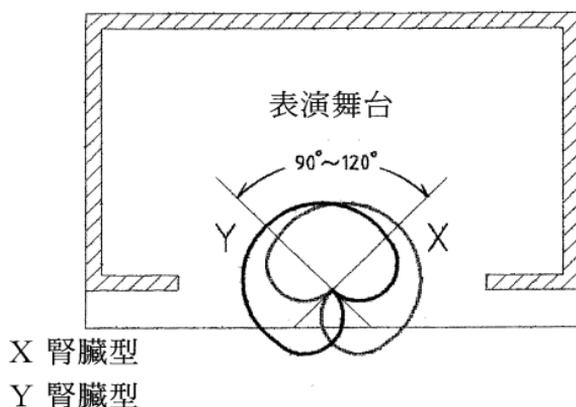
■ 圖四二 ABC立體聲收音主系統架構



■ 圖四三 ABC立體聲收音主系統架設的兩種方式

上A、C、B，高度則以相對於所有樂器的距離而敲定，其距離和樂器間產生的效果由個人經驗決定。ABC立體聲收音主系統架構的特色是為補強AB中間太空的缺點。AB與ABC立體聲收音主系統架構推薦使用於合唱、合奏或大型演奏收音。

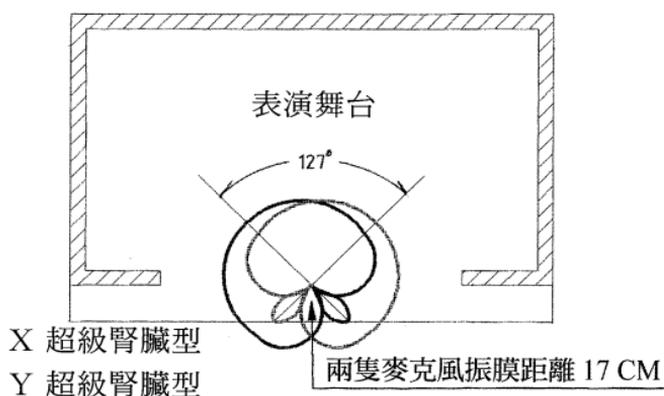
(4) xy立體聲收音主系統架構，如圖四四，使用兩支腎臟型指向麥克風，以中間向左右夾角 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 交叉架設，架設高度離地約 $1.7\text{m}\sim 2.9\text{m}$ 。其夾角可依情況調整，約在 $90^{\circ}\sim 120^{\circ}$ 之間，xy立體聲收音主系統架構最容易架設，其目的在模仿人耳的位置，產生一種人類聽覺的模仿。此系統多使用於小型室內樂或獨奏曲，由於聲樂的表演形式，會造成聲音過於集中在左或右聲



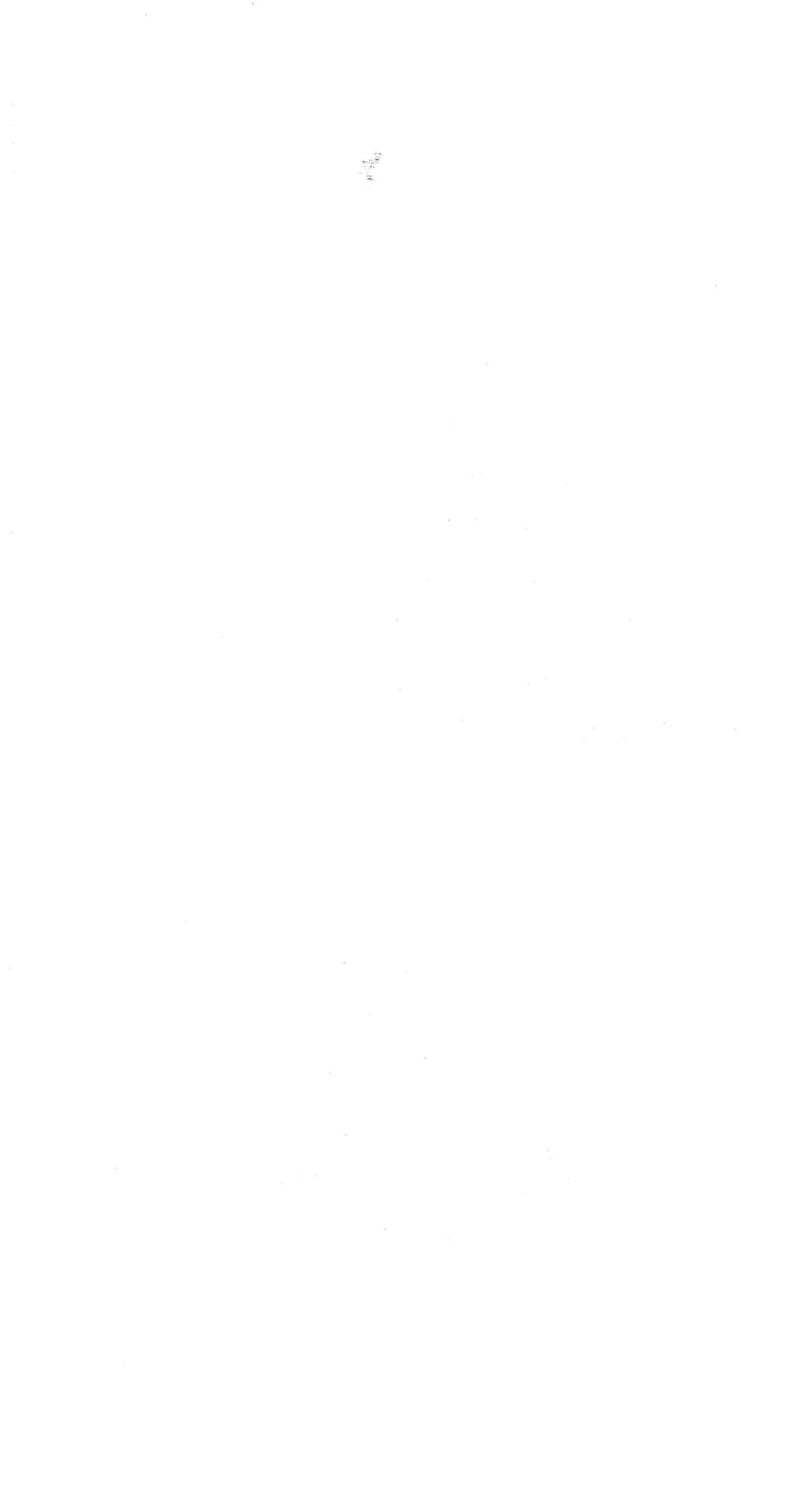
■ 圖四四 XY立體聲收音主系統架構

道，產生不協調的收音效果，因此不建議使用於聲樂的收音。

(5) ORTF立體聲收音主系統架構，如圖四五，建議使用兩支超級腎臟型的麥克風，使兩支麥克風交叉如xy立體聲收音主系統架構，但振膜之間距離17cm，而交叉角度為 127° 。ORTF為法國廣播電視組織所發展出來的一種收音架設系統，其最主要的目的是在模擬人類的頭部和雙耳的距離，用較精確的數值架設出來的系統。此系統多用於中小型室內樂，特別建議用於現代音樂獨奏及室內樂的收音。



■ 圖四五 ORTF立體聲收音主系統架構



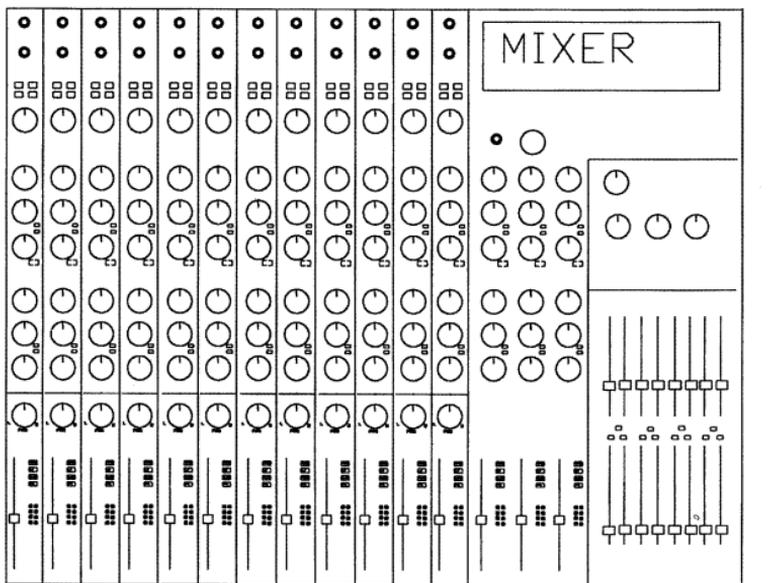
第四章

放大系統

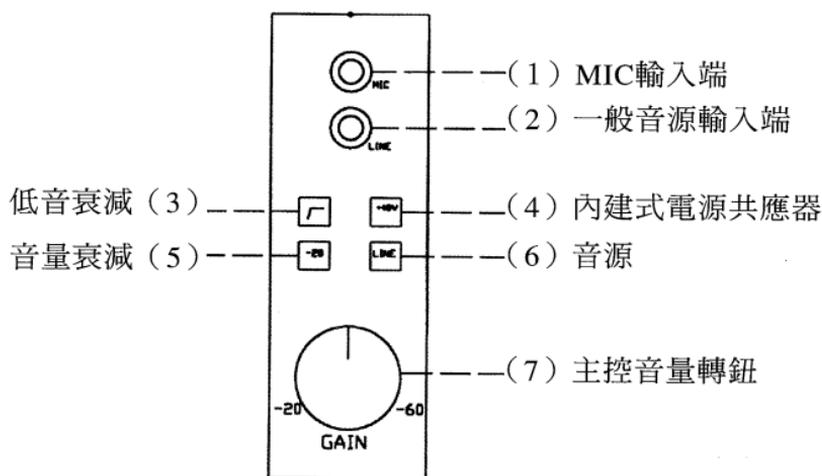


4—1 混音器

混音器(Mixer)即為音響的控制台(console)能將各種不同的音源作音效、音量及向位等的處理，並將這些處理過的音源訊號傳送到指定的輸出端，如擴大機、錄音器材等；每個輸入的訊號可以指定輸出給一個或多個輸出端，亦可將多個輸入音源輸出給一個或多個輸出端，其功能在使音響人員能方便的控制各種音源的組合變化。(圖四六)



■ 圖四六 混音器



■ 圖四七 混音器細部功能

(1) MIC輸入端

為麥克風專用的輸入端〔一般大多為XLR接頭〕

(2) 一般音源輸入端

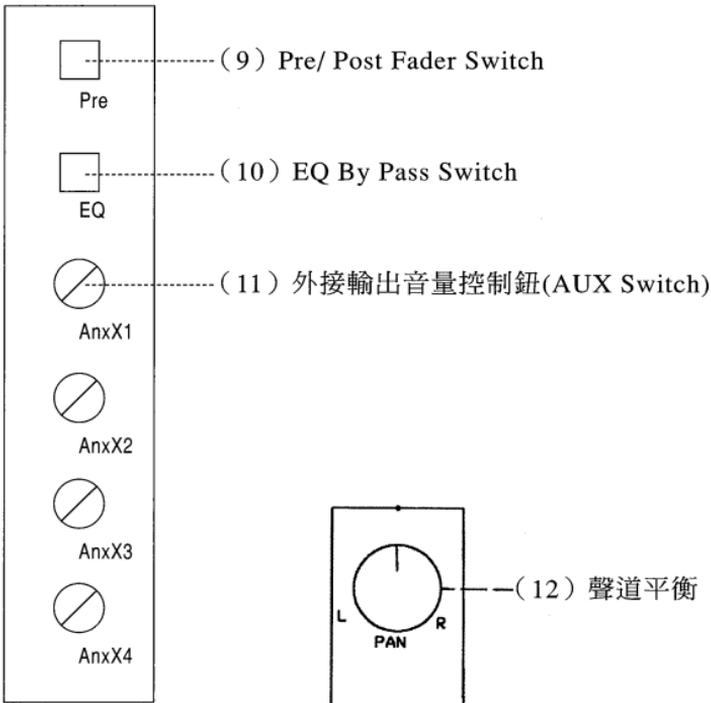
如TAPE CD DAT MD MIDI等音源輸入端〔一般為Phone Jack 接頭〕

(3) 低音衰減(LOW CUT)

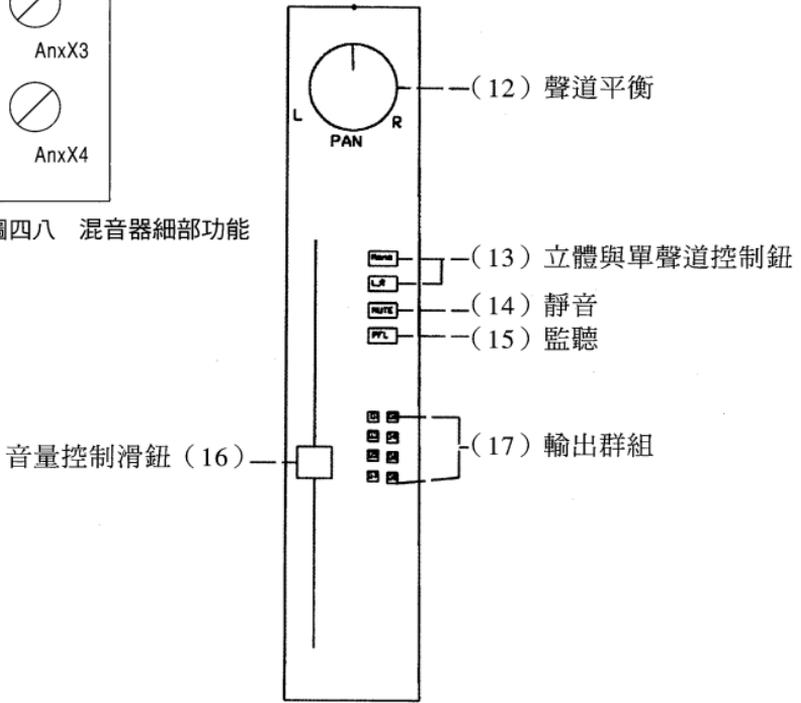
為了將一些不必要的低頻雜訊過濾，使音源之聲音品質改善。

(4) 內建式電源供應器(Phantom Power Switch)

提供需外加電源作偏壓的麥克風一個+48V的供應



■ 圖四八 混音器細部功能



■ 圖四九 混音器細部功能

電源，此鈕要注意使用，以免對動圈式麥克風造成傷害。

(5) 音量衰減(Pad Switch)

為了避免音源輸入過量的訊號，所以利用此鈕將訊號降20dB後再進入混音器。

(6) 音源(line input)

一般使用Phone Jack 的音源設備接入混音器時需將此鈕按下。

(7) 主控音量轉鈕(Gain Control)

當音源進入混音器時，音量如果太小或太大，便可將此扭作適當調整。

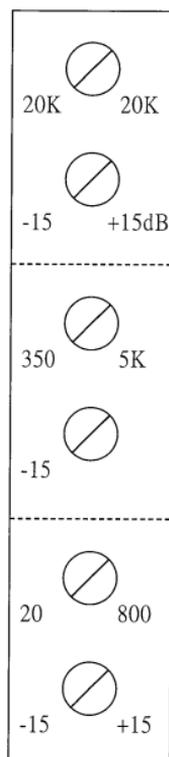
(8) 內建式等化器 (圖五〇)

劇場用的混音器，最少都將頻率分成三段舉例而言。

Hi 2000~20000Hz

Mid 350~5000Hz

Low 20~800Hz



一般來說，三個頻段中皆有重疊處，

■ 圖五〇 等化器

其目的在使兩種頻率的中間地帶能自由放大收小。

(9) Pre/ Post Fader Switch

Pre鈕的功能在使訊號不經過Fader直接送到輸出端
Post鈕則是經過Fader送到輸出端。

(10) EQ By Pass Switch

使訊號跳過等化器也就是使音源訊號不經過EQ調整，在EQ調整好後，與原來還沒有調整過的聲音作比對，猶為重要。

(11) 外接輸出音量控制鈕(AUX Switch)

此有三個外接輸出音量調節，使此頻道(Channel)之音源能經由它傳送給效果器或舞台監聽揚聲器的後級擴大機等器材。

(12) 聲道平衡(Panorama or Pan) pot

用來調節左右聲道之平衡。

(13) 立體與單聲道控制鈕(Mono L & R Switch)

選擇單聲道輸出或立體聲輸出。

(14) 靜音(Mute/cut Switch)

使此頻道之音源暫停輸出。

(15) 監聽

當我們在錄音時，想要單獨聽某一軌的聲音，便

可利用此鈕將聲音傳到耳機或監聽揚聲器。

(16) 音量控制滑鈕(Fader)

用來調節這一個軌音源之音量大小。

(17) 輸出群組 (Group)

有點類似AUX的功能，但AUX比較屬於單一音源的處理，且為轉鈕形式，雖在調整上較能精準，卻不適合即時演出的輸出應用；Group則偏向處理多組音源的輸出控制，利用Fader使音源的輸出更加快速，適合即時演出的輸出。

輸出區域面板說明

(1) Stereo、Mono 主聲道控制區

此有三道Fader之前所有的音源軌皆可由此輸出，其分為L、R、Mono也就是立體和單聲道的輸出，為最後的主控輸出。

(2) Aux Master

之前所有的音源，有藉由Aux的輸出的部分皆被送至此處，再經由這控制Aux輸出值得大小，利用轉鈕的輸出，較便於精準的控制輸出值，比較不適於現場即

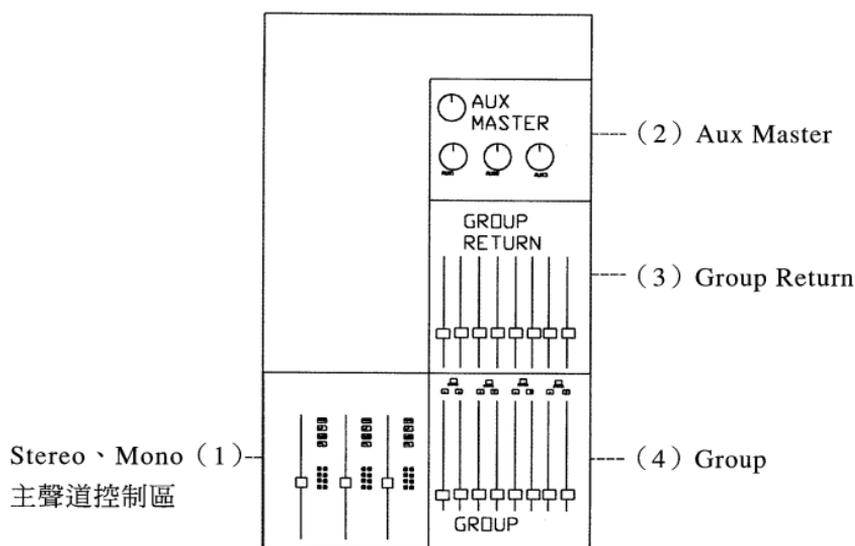
時輸出控制。

(3) Group Return

其主要功能在接受轉接訊號的輸入，如Effector，用來控制經過處理的聲音。

(4) Group

可接收單軌或多軌的音源訊號，用來控制多組音源的同時輸出，其輸出是利用滑軌（Fader），較便於即時演出的需要，因為Fader比轉鈕更利於現場的輸出控制，所以Group多用來控制現場揚聲器的輸出值訊號。



■ 圖五一 輸出區域面板

4-2 動態效果處理器

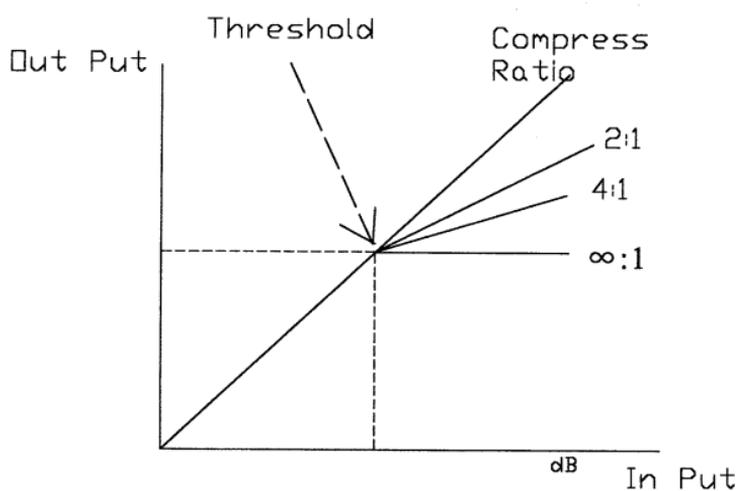
聲音在音響系統的傳導中，經過不同的大小功率轉換，處理最大與最小功率之間的差異，我們就稱之為動態範圍（Dynamic Range）把動態範圍說得簡單一點，就是聲音的大小啦！。Dynamic又分為Compressor、Limiter、Expander、Gate等，其與混音器連接的方式為Channel Insert I/O，因為Dynamic效果器是為製造出某一音源的動態，所以通常不太會有共享的情況發生，與模擬音場效果器（Ambience）利用AUX Sent/Return有很大的不同。

◎ Compressor

『動態壓縮處理器』，其功能在壓縮訊號的Dynamic Range，經由不同的壓縮程度決定輸出音量範圍。（圖五二）

◎ Compression Ratio

此裝置的功能在控制聲音輸出的壓縮比例，其分作1：1、2：1、4：1、8：1等刻度。



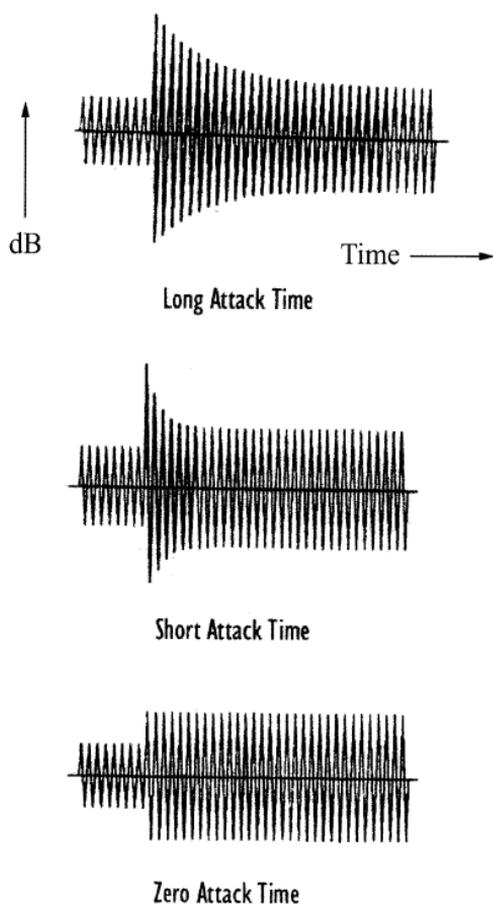
■ 圖五二 Compressor之表示圖樣

◎ Threshold

為訊號壓縮點，所以音源訊號的音量必須大於 Threshold 的設定值，才能使 Compression Ratio 的功能產生用處。

◎ Attack Time

當一個變大的音源訊號通過壓縮點時，其經由 Compressor 壓縮的動態時間範圍，即為 Attack Time，其動態範圍通常小於 20ms。（圖五三）



■ 圖五三 Attack Time

◎ Release Time

當一個變小的音源訊號通過壓縮點時，Compressor會利用Gain Before Threshold來改變訊號的動態範圍，此改變的過程即為Release Time（圖五四）



Long Release Time



Short Release Time



Zero Release Time

■ 圖五四 Release Time

◎ **Limiter**

「動態限制處理器」，即高比例的訊號壓縮處理器，採用壓縮比等於 $\infty : 1$ 的壓縮訊號值，使大於Threshold的訊號限定在一個很窄的動態範圍，直接限制輸出值。（ ∞ ：無限大）

◎ **Expander**

「動態延展處理器」，主要是用來放大、調整聲音的動態範圍，配合Compressor的使用可以將原始的輸入訊號改善很多，事實上，Expander的功能應用跟Compressor是完全相反的。

◎ **Expansion Ratio**

輸入訊號相對於輸出訊號的動態比例。

◎ **Expander Threshold**

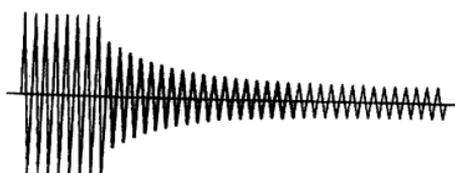
不同於Compressor Threshold，Expander Threshold是作用在Threshold以下，在Threshold以上的訊號仍維持原狀。

◎ Expander Attack Time

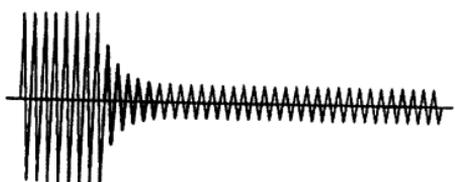
由於與Compressor相反的結果，當變大的輸入訊號超過Threshold時，如果不經調整其實是沒有作用的，但過小的訊號也會使輸出訊號的作用過於微小。

◎ Expander Release Time

當音源訊號變小且小於Threshold時，Expander Release Time就必須經過調整來達成作用，總言之，Expander Release Time的作用方式與Compressor是完全相反的。（圖五五）



Expander Long Release Time



Expander Short Release Time



Zero Release Time

■ 圖五五 Expander Release Time

4—3 等化器

Equalize（等化器）其主要功能為處理或修飾訊號音源之頻率反應，最早以前的等化器是應用在電話通訊和電影上，是為了彌補音源在訊號轉換過程中，所失掉的高頻與低頻聲音，所以等化器是一種用來平衡聲音輸出頻率的工具。

等化器上常用名詞解析

◎ Filter

是一種能將頻率分開的濾波器，使聲音變得較薄的減弱裝置。

◎ Lowpass Filter

讓音源之某個低頻以下音通過的裝置。

◎ Highpass Filter

讓音源之某個高頻以上音通過的裝置。

◎ Bandpass Filter

讓音源之某特定頻率區域通過的裝置。

◎ Cutoff Frequency

被Filter濾掉的某頻率。

◎ Slop

在Cutoff Frequency以下的頻率。

◎ Center Frequency

介於最低頻與最高頻中央的頻率，最低頻為 f_L 最高頻為 f_h 。

◎ Bandwidth

即通過Bandpass Filter所設定的頻率

$$\text{Bandwidth (B)} = f_L - f_h$$

◎ Quality Factor

即是Q值 就是Center Frequency對Bandwidth的一個比例， $Q = f_C \div B = f_C \div (f_L - f_h)$

◎ Octave

是聲音的第一泛音與第二泛音之間的一個比例，也可以說是任兩個頻率之間的比例，

Q值與Octave之間的互換關係：

Octave	Q值
1/6	8.65
1/4	5.76

1/3	4.32
1/2	2.87
3/4	1.90
1	1.41
2	0.67
3	0.40

4—4 模擬音場效果處理器

效果器 (Effector) 為處理聲音環境 (Ambience)、性質 (Character) 和特色 (Feature) 等效果的工具，近年來，錄音作品的質感因效果器的快速發展而有了長足的進步，由原先早期的的回聲器發展至今天物美價廉的數位式效果器，也因其各項功能的進步，使操作上有越來越複雜的趨勢，所以對效果器基礎的操作原理必須要能有十足的了解。簡單的說，若我們要使聲音聽起來有空間感（如教堂、劇院或隧道等效果）或特殊音效（如回音、延遲、音高等效果）就可以用效果器來達成。

傳統效果器原理

傳統式的效果器我們俗稱它叫回音器 (Echo Machine) 其功能最主要是處理殘響效應 (Reverberation) 和延遲效應 (Delay)。殘響效應的原理，是利用聲音脈衝 (Impulse) 後延續 (Continuous) 的現象。

延遲效應的原理是利用聲音脈衝後之重複 (Repeated) 現象。

對於早期反射 (Early Reflection) 和直接聲 (Direct Sound) 脈衝後衰減60dB的時序定義，以下為其說明：

直接聲發生在第一時序	零秒時刻
早期反射為第二時序	0~100毫秒
殘響和延遲為第三時序	100毫秒到“RT60”

註：RT60就是直接脈衝後衰減60Db所需的時間

效果器的使用功能介紹

現今的效果器功能不僅於上述的殘響和延遲效應，其以可以處理各種類型的聲音，以下是各種處理

模式的說明和應用：

◎ Hall

Hall是指聲音環境的處理，因為聲音在原有的收錄過程中，通常不能表現其所需要的環境質感；一般迫近收錄進來的聲音都會有聲音太乾的缺點，所以經由此種功能的應用，能將不同的聲音的空間質感展現出來，其模式包含教堂、房間、劇院、車站……等。

◎ Filter

過濾；運用其內部等化的迴路處理聲音的質感，有點類似等化器（Equalizer）的功能，將聲音做出需要的質感，如老收音機效果、金屬質感效果、老電話聲效。

◎ Chorus

是利用聲音頻率（Frequency）、振幅（Amplitude）和音高（Pitch）的調整所產生的效果，目的在使單一音源處理成多群組的聲音，如一個人在唱歌利用Chorus的功能處理後，便會像有一群合聲的感覺。

◎ Delay Lines

一般我們在錄音時，常會發現一種現象，就是聲

音和畫面不協調，聲音出現時畫面卻還沒有跟上，就算時間差只有幾毫秒，我們都能輕易的發覺，所以在遇到此種問題時，時間延遲器便發揮了它的功用。另一方面，例如錄製大合奏群，在舞台前與舞台後方的差距可能很大，利用本功能，則可以輕易調為近似之時間。

◎ Pitch Control

為了使聲音變調或變音，就得改變其音高控制 (Pitch Control)，其最明顯的例子就是電子琴的升降Key功能，利用數位化的處理，它可以在不改變音樂的速度下調整其音高，最常見的例子就是在唱KTV時，我們常會利用升降Key的功能調整適合自己的音高，也可利用此功能將人的聲音變得像老人或小孩。

10

11-1111

第五章

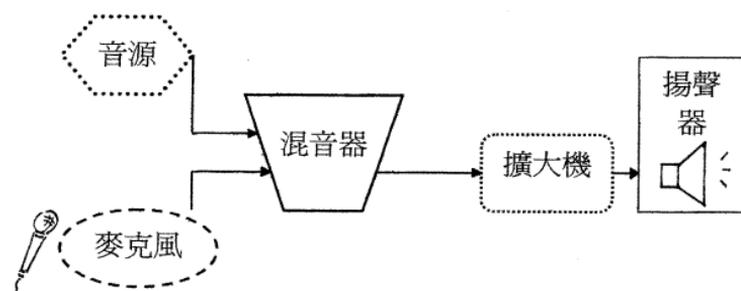


揚聲系統

10

5-1 揚聲器的種類

揚聲器的種類上，主要是揚聲器（俗稱喇叭），與小型揚聲器，一般稱作耳機。而揚聲器又分為紙盆式與號角式揚聲器，其細節分述於下段如圖五六。



■ 圖五六 揚聲器播音流程圖

5-2 揚聲器的原理與構造

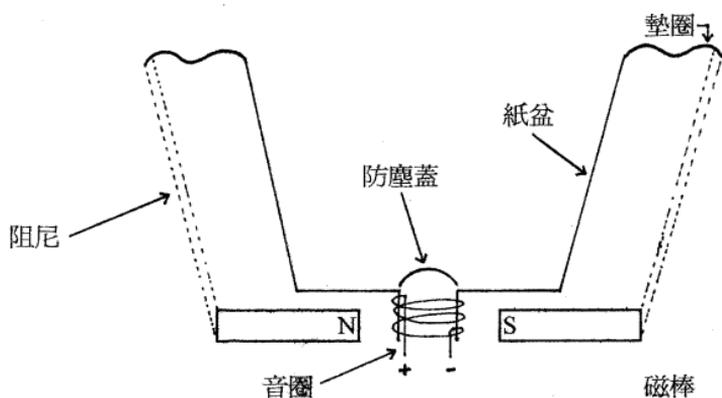
揚聲器的原理就是利用磁極S與N之間，同極相斥



■ 圖五七 磁極原理

異極相吸的原理，如圖五七。造成相斥相吸的力量，模仿音波的振動而將類比訊號轉為音波型式傳到空氣中。由於揚聲單體在正面會釋出正相位的波，而背面會釋出反相位的波，在這種情況下相位抵消，而沒有任何聲音，所以必須將這正反相位的波之間的空間隔離，才將揚聲器的單體嵌在音箱中，使正反相位的波隔離，只留下正相位的波。

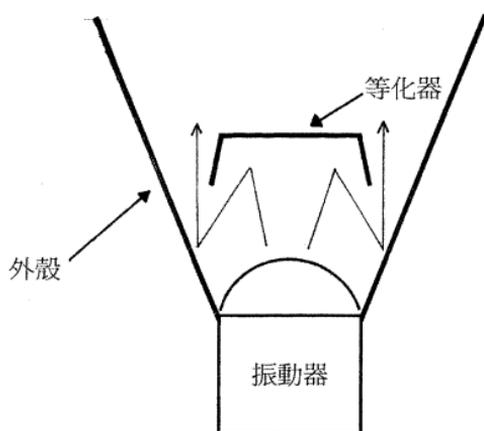
紙盆式揚聲單體的結構，如圖五八，當音圈接收電子訊號，而影響永久磁鐵和音圈間的磁性變化，造成振動推動紙盆，而輸出振波。墊圈是銜接音箱與紙盆的構造，而阻尼是提供拉力將墊圈拉回之用，當紙盆的材質和緊張度不同，可以分為高音、中音與低音



■ 圖五八 紙盆式揚聲單體結構圖

用的揚聲器，而由於紙盆的關係，使得聲音耗損性加大，一般紙盆式揚聲單體多為中、低音域的揚聲器使用。

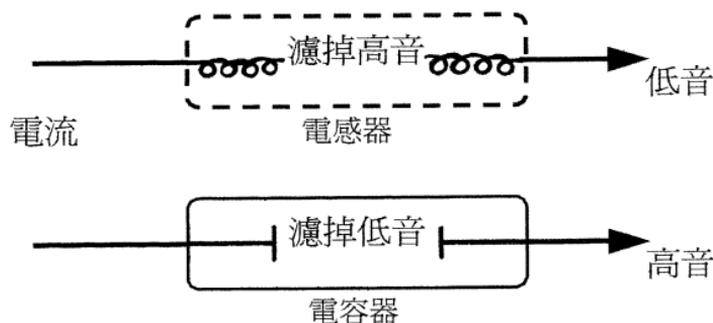
號角式揚聲單體的結構，如圖五九，其磁性變化來自中間的電磁振動器的振動，以弧形的波動傳出，但是由於弧形的音波會造成聲音的傳送速度不同，因此號角式的揚聲單體振動器前端都有附設一個等化器，其目的就是假以延遲效果，使音波波動的方向變為平行輸出，而不會產生聲音的殘響與射出之指向性及距離無關。而號角式揚聲器的聲音較為集中，它的振動器材質較紙盆式為緊實，所以其用途多在於中音及高音域的揚聲器來使用。



■ 圖五九 號角式揚聲單體結構

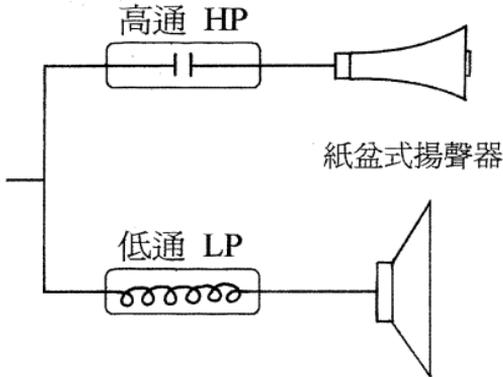
5—3 電子分音器

在揚聲器的世界，如何在同一揚聲器中裝入不同音域的揚聲單體，除了振動器所使用的材質不同外，就是控制輸入揚聲器的類比電流訊號。這控制高低音電流訊號的主角，就是一般設置於揚聲器內部的電子分音器。電子分音器的原理是利用電感和電容的作用，造成聲音訊號的改變。電感器是專吃高音訊號留下低音訊號，而電容器卻是專吃低音訊號留下高音訊號，如圖六〇，這兩種電子上的小構造，使得類比電流訊號能分出高通(HP)或低通(LP)來，如圖六一，使揚聲器接收的同一電流訊號中，有其高低音域不同的電流訊號輸出。



■ 圖六〇 電子分音器示意圖

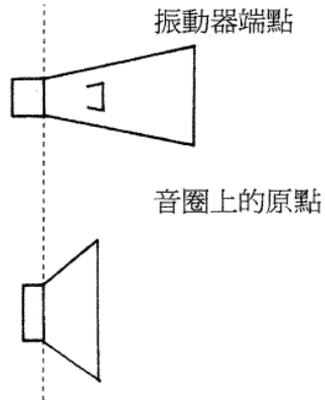
號角式揚聲器



■ 圖六一 電子分音器示意圖

5-4 揚聲器的排列與組合

在揚聲單體的排列與組合上，必須依照一個原則，如圖六二在不同的揚聲單體組合在一起時，需考慮到聲波輸出時的位置是在同一平面上，如此一來才不會造成時間差的問題而有殘響的發生，當同為紙盆式的揚聲單體時，就要將音圈的原點排在同



■ 圖六二 揚聲器單體的排列方式

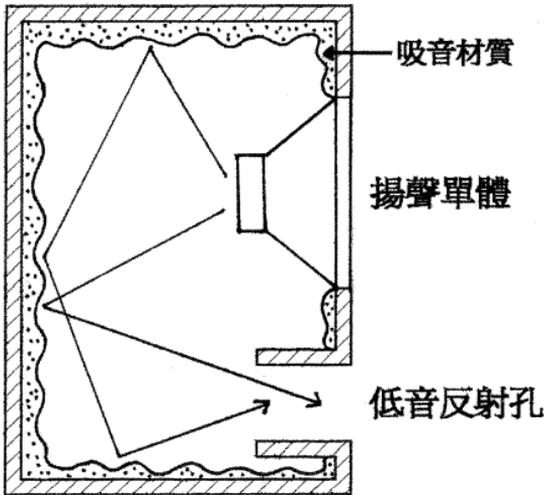
一平面位置上，而為紙盆式與號角式揚聲單體，就必須把紙盆式的音圈原點與號角式振動器前緣排在同一平面上，這時間差的問題方可解決。

5—5 揚聲器低音反射孔

還記得上述揚聲單體為何要用音箱包起來，將揚聲單體的前後部分的空間隔開吧。但是音箱的吸音材質就算再好，都還是會有聲音的穿透與漏音的問題，所以專家研究後發現，與其將反向位的聲波完全封鎖，不如利用它來增加揚聲器的揚聲效果，所以他們研究後利用音箱內的吸音材質將高音去除，留下低音反射後由前方開孔傳出，如圖六三。經研究測試，在揚聲器上開低音反射孔後，反而有效的將40~100Hz的低音降低，使揚聲器的高低音音質趨於平緩。

5—6 揚聲器與擴大機

擴大機(Amp)是提供揚聲器力量的重要機器，揚聲



■ 圖六三 低音反射孔原理示意圖

器與擴大機間可謂是相輔相承的，之間缺一不可。當兩者間要連接在一起時必須考慮到總瓦數與總電阻的問題，由於每台擴大機的總電阻與總瓦數不同，因此揚聲器與擴大機間，若擴大機的總輸出功率為1200W揚聲器有兩台，那揚聲器的瓦數必須都是600W的，這是因為一台擴大機接多少台的揚聲器，其瓦數就除以揚聲器的數量，則為揚聲器單獨一台的瓦數。而在電阻方面，擴大機的總電阻必須小於或等於所連接的全部揚聲器總電阻，因此揚聲器連接後產生的總電阻最好越接近擴大機的總電阻數，這就要技巧性的將揚聲

器串聯與並聯了，其公式如下圖六六。

例如使用一台 2Ω 的擴大機，要連接 2Ω 、 4Ω 、 8Ω 的揚聲器各兩台，如何接才會獲得最好的總電阻數呢？其詳細圖解如下圖六七： 2Ω 的擴大機接 2Ω 、 4Ω 、 8Ω 的揚聲器各2台，計算為串聯 $(8+8)(4+4)(2+2)$ 並聯 $1/(1/16+2/16+4/16)=2.28\Omega$ 此為最接近數值。

串聯公式

$$1/(1/R_1+1/R_2+1/R_3+\dots+1/R_n)$$

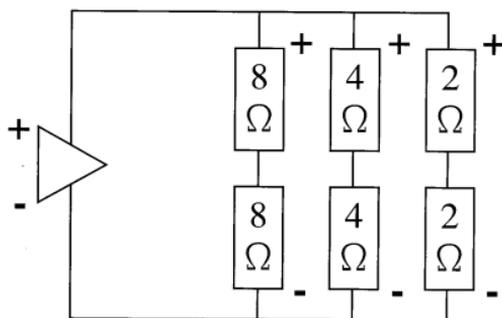
並聯公式

$$R_1+R_2+R_3+\dots+R_n$$

= 總電阻

擴大機總電阻 \leq 揚聲器的總電阻

■ 圖六六 揚聲器總電阻計算公式



■ 圖六七 圖解電阻計算

國家圖書館出版品預行編目資料

人類的天籟：舞台音響／宋正宏著．--

初版．--臺北市：藝術館，民89

面； 公分．--（青少年表演藝術叢書．
戲劇之旅；7）

給中學生的劇場基礎音響手冊

ISBN 957-02-5803-9（平裝）

1. 舞臺 - 技術 2. 音響

981.36

89004583

11